



**PARMAK FREZELERDE KÖŞE YUVARLATMA İŞLEMLERİNİN AL 7075
ALAŞIMININ İŞLENEBİLİRLİĞİ ÜZERİNDE ETKİLERİ**

Merve KARASAKAL

**YÜKSEK LİSANS TEZİ
İMALAT MÜHENDİSLİĞİ ANA BİLİM DALI**

**GAZİ ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ**

OCAK 2023

ETİK BEYAN

Gazi Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Tez Yazım Kurallarına uygun olarak hazırladığım bu tez çalışmada;

- Tez içinde sunduğum verileri, bilgileri ve dokümanları akademik ve etik kurallar çerçevesinde elde ettiğimi,
 - Tüm bilgi, belge, değerlendirme ve sonuçları bilimsel etik ve ahlak kurallarına uygun olarak sunduğumu,
 - Tez çalışmada yararlandığım eserlerin tümüne uygun atıfta bulunarak kaynak gösterdiğimi,
 - Kullanılan verilerde herhangi bir değişiklik yapmadığımı,
 - Bu tezde sunduğum çalışmanın özgün olduğunu,
- bildirir, aksi bir durumda aleyhime doğabilecek tüm hak kayıplarını kabullendiğimi beyan ederim.

Merve KARASAKAL

09/01/2023

PARMAK FREZELERDE KÖŞE YUVARLATMA İŞLEMLERİNİN AL 7075
ALAŞIMININ İŞLENEBİLİRLİĞİ ÜZERİNDE ETKİLERİ

(Yüksek Lisans Tezi)

Merve KARASAKAL

GAZİ ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

Ocak 2023

ÖZET

Savunma ve havacılık olmak üzere birçok sektörde kullanımı yaygın Al 7075 alaşımının işlenmesinde en önemli problemler; yapışkan talaş oluşumu (BUE) ve yüzey kalitesidir. Takım tasarımı keskin kesici kenar kullanılması, kesmeyi kolaylaştırmak özellikle de BUE oluşumunu engellemek için takım üreticileri tarafından tercih edilmektedir. Ancak keskin kesici kenar kullanımı zamanla kesici kenarın düzensiz ve kontrolsüz aşınmasına neden olmakta ve bu da yüzey kalitesinin düşmesine ve takım ömrünün azalmasına sebep olmaktadır. Bu çalışmada, Al 7075 alaşımının frezeleme işlemlerinde kesici takım geometrisinin yüzey pürüzlülüğüne etkisinin araştırılması amaçlanmıştır. Kesici kenar yuvarlatma işleminin yüzey kalitesine etkisini görmek için iki adet farklı köşe yuvarlatma değerine (4-5 μm ve 7-9 μm) sahip parmak freze ve helisel dalga formu kesici takım ile yapılan deneylerden elde edilen sonuçlar standart parmak freze ile yapılan işleme sonuçları ile karşılaştırılmıştır. Kesme parametresi olarak üç kesme hızı (280, 300, 320 m/dk) ve iki ilerleme miktarı (0,085 ve 0,11 mm/diş) kullanılmıştır. Deneyler kuru işleme şartlarında gerçekleştirilmiştir. Varyans Analizi (ANOVA) sonuçları, yüzey kalitesi üzerinde takım geometrisinin tek başına etkisinden çok iki yönlü etkileşimlerin yüzey pürüzlülüğü üzerinde daha etkili olduğunu ortaya koymuştur. Yüzey pürüzlülük cihazıyla yapılan ölçümlerde, en iyi yüzey pürüzlülük değerleri ($R_a=0,19 \mu\text{m}$) 4-5 μm köşe yuvarlatma değerine sahip kesici takım ile 300 m/dk kesme hızı ve 0,085 mm/diş ilerleme miktarı kullanılarak yapılan deneylerde elde edilmiştir. Ancak, deneylerde takımın tekil etkisine bakıldığında; genel anlamda 7-9 μm köşe yuvarlatma değerine sahip kesici takım ile daha iyi yüzey pürüzlülüğü değerleri elde edilmiştir. Köşe yuvarlatma işlemi yapılan her iki kesici takımla elde edilen yüzey kalitelerinin, keskin kesici kenara sahip standart takımla elde edilene göre daha iyi olduğu görülmüştür.

Bilim Kodu : 91438
Anahtar Kelimeler : Al 7075, frezeleme, parmak freze, köşe yuvarlatma, yüzey pürüzlülüğü,
Sayfa Adedi : 75
Danışman : Prof. Dr. Ulvi ŞEKER

THE EFFECTS OF CORNER ROUNDING IN END MILLS ON THE WORKABILITY
OF AL 7075 ALLOY

(M. Sc. Thesis)

Merve KARASAKAL

GAZİ UNIVERSITY

GRADUATE SCHOOL OF NATURAL AND APPLIED SCIENCES

January 2023

ABSTRACT

The most important problems in the processing of Al 7075 alloy, which is widely used in many sectors including defense and aerospace, are adhesive chip formation (BUE) and surface quality. The use of sharp cutting edges in tool design is preferred by tool manufacturers to facilitate cutting, especially to prevent BUE formation. However, the use of sharp cutting edges causes irregular and uncontrolled wear of the cutting edge over time, which leads to a decrease in surface quality and a reduction in tool life. In this study, it was aimed to investigate the effect of cutting tool geometry on surface roughness in milling operations of Al 7075 alloy. In order to see the effect of the cutting edge rounding on the surface quality, the results obtained from the experiments with the end mill with two different corner rounding values (4-5 μm and 7-9 μm) and the helical waveform cutting tool were compared with the machining results with the standard end mill. . Three cutting speeds (280, 300, 320 m/min) and two feed rates (0.085 and 0.11 mm/tooth) were used as cutting parameters. The experiments were carried out under dry machining conditions. Analysis of Variance (ANOVA) results revealed that two-way interactions were more effective on surface roughness than tool geometry alone on surface quality. In the measurements made with the surface roughness device, the best surface roughness values ($R_a=0.19 \mu\text{m}$) were obtained in the experiments using a cutting tool with a corner rounding value of 4-5 μm and a cutting speed of 300 m/min and 0.085 mm/tooth feed rate. However, considering the singular effect of the team in the experiments; In general, better surface roughness values were obtained with the cutting tool with a corner rounding value of 7-9 μm . It has been observed that the surface qualities obtained with both cutting tools with corner rounding process are better than those obtained with the standard tool with sharp cutting edge.

Science Code : 91438

Key Words : Al 7075, milling, end mills, edge preparing, surface roughness

Page Number : 75

Supervisor : Prof. Dr. Ulvi ŞEKER

TEŞEKKÜR

Çalışmalarım süresince değerli yardım ve katkılarıyla beni yönlendiren, tecrübe ve görüşlerini benden esirgemeyen, eğitimciliğiyle bana örnek olan değerli danışman hocam Prof. Dr. Ulvi ŞEKER'e, yine kıymetli tecrübelerinden yararlandığım hocalarım Öğr. Gör. Dr. Güven MERAL ve Dr. Öğr. Üyesi Şükran KATMER'e, manevi desteklerini esirgemedikleri gibi bilgilerini de benimle paylaşan kıymetli Arş. Gör. Dr. Bahattin YILMAZ'a, Arş. Gör. Saltuk Alper YAŞAR'a, bu süreçte bana desteğini esirgemeyen değerli arkadaşım Meltem Beste AKIN'a ve aileme teşekkürü bir borç bilirim.

Bu tez çalışması kapsamında kesici takımların üretimi ve temini için katkı sağlayan Karcan Kesici Takım firmasına teşekkür ederim.

İÇİNDEKİLER

	Sayfa
ÖZET	iv
ABSTRACT.....	v
TEŞEKKÜR.....	vi
İÇİNDEKİLER	vii
ÇİZELGELERİN LİSTESİ.....	ix
ŞEKİLLERİN LİSTESİ.....	xiv
RESİMLERİN LİSTESİ	xvi
SİMGELER VE KISALTMALAR.....	xv
1. GİRİŞ.....	1
2. LİTERATÜR.....	3
2.1. Al 7075 Alaşımı ve Frezeleme İşlemi ile İlgili Yapılan Çalışmalar	3
2.2. Takım Geometrisi ile İlgili Yapılan Çalışmalar	6
2.3. Literatür Değerlendirmesi	8
3. KURAMSAL TEMELLER	11
3.1. Frezeleme ve Kesme Kuvveti	11
3.2. Yüzey Pürüzlülüğü.....	15
3.2.1. Ortalama yüzey pürüzlülüğü (Ra)	17
3.2.2. Profildeki en büyük iki nokta yüksekliği (Ry).....	18
3.2.3. Profil karelerinin ortalamasının karekökü (Rq)	18
3.2.4. Profilin maksimum yüksekliği (Rz) ve maksimum tepe yüksekliği (Rp)	19
3.2.5. Maksimum profil yüksekliği (Rmax).....	19
3.3. İşlenebilirlik	20
3.4. Alüminyum Alaşımları.....	23

	Sayfa
3.4.1. Alüminyum alaşımlarının sınıflandırılması	24
3.4.2. Alüminyum alaşımlarının fiziksel ve mekanik özellikleri	25
3.4.3. Alüminyum 7000 serisi	28
3.4.4. Alüminyum alaşımlarının kullanım alanları	29
3.4.5. Alüminyumun işlenebilirliği	30
4. MATERYAL METOD	33
4.1. Deney Malzemesi	33
4.2. Kesici Takımlar	35
4.3. Takım Tezgâhı	38
4.4. Kesme Kuvvetleri ve Momentin Ölçülmesi	39
4.5. Yüzey Pürüzlülüğünün Ölçülmesi	41
4.6. Varyans Analizi (ANOVA)	42
5. BULGULAR VE TARTIŞMA	45
5.1. Yüzey Kalitesi	45
5.2. Kesme Kuvvetleri ve Kesme Momenti	50
5.3. Varyans Analizi (ANOVA) Sonuçları	57
5.3.1. Yüzey pürüzlülüğü için varyans analizi	57
5.3.2. Bileşke kuvvet için varyans analizi	60
5.3.3. Burulma momenti için varyans analizi	62
6. SONUÇ VE ÖNERİLER	65
KAYNAKLAR	69
ÖZGEÇMİŞ	75

ÇİZELGELERİN LİSTESİ

Çizelge	Sayfa
Çizelge 3.1. Alüminyumun bazı özelliklerinin diğer metallerle karşılaştırılması	24
Çizelge 3.2. Alüminyum alaşımlarının sınıflandırılması	25
Çizelge 3.3. Alüminyumun fiziksel özellikleri	26
Çizelge 3.4. Alüminyumun üretim şekillerine göre mukavemet özellikleri	27
Çizelge 3.5. Alüminyum ve alaşımlarının fiziksel özellikleri (döküm)	27
Çizelge 3.6. Bazı alüminyum alaşımlarının oda sıcaklığındaki mekanik özellikleri	28
Çizelge 4.1. Alüminyum 7075 malzemesinin kimyasal kompozisyonu	33
Çizelge 4.2. Alüminyum 7075 malzemesinin mekanik özellikleri	33
Çizelge 4.3. Deney tasarımı	35
Çizelge 4.4. Pardus iki istasyonlu drag finishing makinesinin teknik özellikleri	38
Çizelge 4.5. Yüzey pürüzlülüğü ve yüzey dokusu ölçüm cihazının teknik özellikleri ...	38
Çizelge 4.6. Mikron vcp800 cnc dik işleme merkezi teknik özellikleri	39
Çizelge 4.7. Kistler 9272 dinamometre teknik özellikleri	40
Çizelge 4.8. Kistler 5070 amplifier teknik özellikleri	41
Çizelge 4.9. Yüzey pürüzlülük cihazının teknik özellikleri	42
Çizelge 4.10. Deney faktörleri ve seviyeler	43
Çizelge 5.1. Kesme parametrelerine göre yüzey pürüzlülük değerleri	45
Çizelge 5.2. Kesici takımlara ait aşınma değerleri ($f=0,085$ mm/diş)	49
Çizelge 5.3. Kesme parametrelerine göre bileşke kuvvet ve burulma momenti değerleri	50
Çizelge 5.4. Ortalama yüzey pürüzlülüğü varyans analizi	58
Çizelge 5.5. Bileşke kuvvet varyans analizi	61
Çizelge 5.6. Burulma moment varyans analizi	63

ŞEKİLLERİN LİSTESİ

Şekil	Sayfa
Şekil 3.1. Frezeleme işleminde temel kuvvetler	12
Şekil 3.2. Frezeleme işlemindeki ana kesme kuvvetleri	12
Şekil 3.3. İşleme sırasında oluşan kuvvet yönleri.....	12
Şekil 3.4. Aynı yönlü frezeleme işlemi.....	14
Şekil 3.5. Kesme kuvveti bileşenleri ile üç boyutlu parmak freze geometrisi	15
Şekil 3.6. Yüzey pürüzlülüğünün değerlendirilmesi.....	16
Şekil 3.7. Yüzey pürüzlülüğünün üç boyutlu gösterimi ve yüzey profili	16
Şekil 3.8. Yüzey kalite ve pürüzlülük değerleri.....	17
Şekil 3.9. Ortalama yüzey pürüzlülüğü.....	17
Şekil 3.10. Profildeki iki en büyük noktanın yüksekliği, R_y	18
Şekil 3.11. Profilin karelerinin ortalamasının karekökü	19
Şekil 3.12. R_v , R_p , R_t - R_{max} yüzey pürüzlülük parametreleri	20
Şekil 3.13. İş kontrol halkası üzerinden gösterilen talaş kaldırma işlemleri	22
Şekil 3.14. Alüminyum alaşımlarının kullanım alanları ve oranları.....	29
Şekil 4.1. İş parçasının temsili resmi	34
Şekil 4.2. Standart parmak frezenin teknik resmi	36
Şekil 4.3. OTEC1 kesici takımın teknik resmi (4-5 μm köşe yuvarlaması)	36
Şekil 4.4. OTEC2 kesici takımın teknik resmi (7-9 μm köşe yuvarlaması)	37
Şekil 4.5. Helisel dalga formlu kesici takımın teknik resmi	37
Şekil 4.6. Deney düzeneği	40
Şekil 5.1. Yüzey pürüzlülüğünün, kesme hızı ve ilerleme miktarına bağlı değişimi	46
Şekil 5.2. Bileşke kuvvetin, kesme hızı ve ilerleme miktarına bağlı değişimi	51
Şekil 5.3. Burulma momentin, kesme hızı ve ilerleme miktarına bağlı değişimi.....	54

Şekil	Sayfa
Şekil 5.4. Ortalama yüzey pürüzlülüğü tek yönlü ana etki grafiği	59
Şekil 5.5. Ortalama yüzey pürüzlülüğü çift yönlü ana etki grafiği	60
Şekil 5.6. Bileşke kuvvet tek yönlü ana etki grafiği	61
Şekil 5.7. Bileşke kuvvet çift yönlü ana etki grafiği	62
Şekil 5.8. Burulma moment tek yönlü ana etki grafiği	64
Şekil 5.9. Burulma moment çift yönlü ana etki grafiği	64

RESİMLERİN LİSTESİ

Resim	Sayfa
Resim 4.1. DynoWare yazılımında kuvvet ve moment ölçümü	41

SİMGELER VE KISALTMALAR

Bu çalışmada kullanılmış simgeler ve kısaltmalar, açıklamaları ile birlikte aşağıda sunulmuştur.

Simgeler	Açıklamalar
F_c	Kesme kuvveti, N
F_{cz}	Ortalama kesme kuvveti, N
F_f	İlerleme kuvveti, N
F_{fz}	Ortalama ilerleme kuvveti, N
F_R	Bileşke kuvvet, N
F_{rz}	Ortalama radyal kuvvet, N
F_x, F_y, F_z	Kesme Kuvvetleri, N
F_{zz}	Ortalama talaş kaldırma kuvveti, N
f_z	Diş başına ilerleme miktarı, mm/diş
R_a	Ortalama yüzey pürüzlülüğü, µm
R_{max}	Maksimum profil yüksekliği, µm
R_p	Maksimum profil tepe yüksekliği, µm
RSM	Yanıt yüzey yöntemi (Response surface method)
R_q	Profil karelerinin ortalaması
R_t	Pürüzlülüğün maksimum yüksekliği, µm
R_y	En büyük pürüzlülük değeri, µm
R_z	Düzensizliklerin 10 nokta yüksekliği, µm
V	Kesme hızı, m/dk
Z_e	Kesici takımın toplam ağız sayısı
Kısaltmalar	Açıklamalar
ANOVA	Varyans Analizi
BUE	Built Up Edge (Yığıntı Talaş),
CNC	Computer Numerical Control (Bilgisayarlı Sayısal Denetim),

Kısaltmalar**Açıklamalar****DIN**

Deutsches Institut für Normung (Alman Standartlar Enstitüsü),

ISO

International Organization for Standardization (Uluslararası Standart Organizasyonu),

RSM

Response Surface Method (Yanıt Yüzey Yöntemi),

TS

Türk Standardı

1. GİRİŞ

Teknoloji ilerledikçe kesici takımların kalite ve maliyetleri yönünden, doğru takım ve uygun kesme şartlarının seçilmesi zorunluluk haline gelmiştir. Kullanılan kesici takımın doğru seçilmesi işleme esnasında en üst seviyede verimlilik elde edebilmek açısından önemlidir. Kullanılan kesici takımlar talaş kaldırma işlemi esnasında aşınır ve takım ömrünü tamamlayıncaya kadar bu aşınma devam eder. Takım ömrünün az olması takım değiştirmesini artıracığından süre ve maliyetlerin de artmasına sebep olmaktadır. Bu sebeple takımın dayanabileceği optimum değerleri ve ideal takım geometrisini bulmak için birçok araştırma yapılmıştır [1].

Talaşlı imalat; farklı talaş kaldırma stratejilerini bünyesinde barındıran bir imalat yöntemidir. Birçok sanayi dalında (otomobil, havacılık, kalıpcılık, biyomedikal vb.) istenilen yüzey kalitesini yüksek verimlilikle elde etmek için frezeleme operasyonu yaygın olarak tercih edilen bir imalat yöntemidir [2]. İmalat işlemleriyle üretilen parçaların kalitesi, yüzey form hataları ve bitirme yüzeyine göre belirlenmektedir. Yüzey kalitesi, ürün kalitesinin yanı sıra fonksiyonel özelliklerinin belirlenmesinde rol oynamaktadır. Malzemelerin tribolojik özelliklerini, ısı iletimini, yorulma dayanımını, aşınma direncini ve estetik görünümünün arttırılmasında iyi yüzey kalitesi etkili olmaktadır. Ancak, üretim maliyetlerde artışa sebep olabilmektedir [3]. Frezeleme işlemi sırasında yüzey pürüzlülüğüne etki eden en önemli parametrelerin kesme hızı, kesme derinliği ve ilerleme miktarı olduğu bildirilmektedir [4-8]. Üretim esnasında yüzey kalitesini etkileyen kesme parametrelerinin ideal şartlarının belirlenmesi ve bu etkilerin analiz edilmesi yüksek kalite yönünden avantaj sağlamaktadır [9]. Talaşlı imalat sektöründe de tüm üretim yöntemlerinde olduğu gibi parçanın boyutsal toleranslarının yanı sıra istenilen yüzey kalitesinin de yüksek verimlilikle (düşük maliyetler ile yüksek kalitede parça üretimi) elde edilmesi hedeflenmektedir [10]. Doğru belirlenmeyen kesme parametreleri; kullanılan takımların hızlı aşınmasına, iş parçalarının bozulmasına, kesme kuvvetlerinin artmasına ve düşük yüzey kalitesinin oluşmasına neden olmaktadır. Bu durum operasyon maliyetlerini artırırken verimliliği azaltmaktadır [11].

7xxx serisi alüminyum alaşımları, genellikle yüksek dayanım, düşük yoğunluk, süneklik, tokluk ve yorulmaya karşı direncinden dolayı yapısal uygulamalarda yaygın olarak tercih

edilmektedir [12,13]. Cu, Zn, Mg gibi elementlerle yaptığı alaşımlar alüminyumun sertlik, çekme ve akma mukavemetlerini artırmaktadır. Bu alaşımlar diğer özelliklerine kıyasla mukavemetinin ön plana çıktığı taşıyıcı profiller ve konstrüksiyonlarda kullanılmaktadır [14]. Alüminyum alaşımları yüksek mekanik özelliklerinin yanı sıra hafif olmalarından da birçok sektörde sıklıkla tercih edilmektedir. Uzay, havacılık, silah ve savunma sanayi alüminyumun yaygın olarak kullanıldığı sektörlerin başında yer almaktadır. Bunun yanı sıra alüminyum alaşımları füze ve roket sistemlerinde de farklı oranlarda bulunmaktadır [15].

Alüminyum alaşımlarının çeşitli sektörlerde kullanımının yaygınlaşması sonucu işlenebilirlikleri üzerine birçok araştırma ortaya konmuştur. Alüminyum alaşımlarında talaş kaldırılması esnasında talaşın kesici takım kenarında yığılarak birikmesi (BUE) kesme kuvvetleri ve yüzey pürüzlülüğü gibi çıktıları olumsuz etkilemektedir [1].

Alüminyumun işlenmesi esnasında BUE (built up edge) oluşumunu azaltmak ve daha iyi yüzey kalitesi elde etmek için kesme parametrelerinin ve kesici takım geometrisinin doğru belirlenmesi gerekir. Bu çalışmada kesici takımda kenar/köşe yuvarlatma işlemlerinin Al 7075 alaşımının işlenebilirliği üzerindeki etkilerinin ortaya konulması amaçlanmıştır. Bu doğrultuda takım ömrünü arttırmak, kesme kuvvetlerini düşürmek ve işleme süresini azaltmak da amaçlanmıştır. Farklı kesme hızı, farklı ilerleme miktarı ve farklı kesici takımlar ile yapılan deneyler sonucunda elde edilen veriler tablo ve grafik haline getirilmiştir. Keskin kesici kenara sahip standart parmak freze ile iki farklı köşe yuvarlatma değerine sahip parmak freze ve helisel dalga formlu kesici takımın yüzey pürüzlülüğü üzerindeki etkisi kıyaslanmıştır. Optimum yüzey pürüzlülüğünün elde edildiği kesme parametreleri ve kesici takım geometrisi seçimi hakkında bilgiler sunulmuştur.

2. LİTERATÜR

Alüminyum7075 alaşımının iyi korozyon direnci, iyi elektriksel ve ısı iletkenliğine sahip ayrıca yapı çeliklerine göre daha mukavemetli ve hafif bir malzeme olması gibi özelliklerinden dolayı endüstride kullanımı gün geçtikçe artmaktadır. Fakat alüminyum7075 alaşımının sıvanmaya (BUE oluşumuna) yatkın bir malzeme olduğu bilinmektedir ve kesme işlemi sırasında talaş, kesici takımın üzerine yapışarak kesici takım ve iş malzemesini olumsuz etkilemektedir. Alüminyumun işlenmesinde yüzey kalitesini iyileştirmek için çalışmalar yapılmıştır. Yapılan çalışmalarda ağırlıklı olarak kesme hızı, ilerleme miktarı, kesme derinliği, devir sayısı gibi kesme parametreleri üzerinde yoğunlaşıldığı kısmen de uç radyusları, uç ve eğim açıları, kesici ağız sayıları gibi takım geometrisinin araştırıldığı ortaya konmuştur. Ayrıca yapılan çalışmalarda kaplamalı veya kaplamasız takımların işlenebilirliğe etkisi araştırılmıştır.

2.1. Alüminyum 7075 Alaşımı ve Frezeleme ile İlgili Yapılan Çalışmalar

Kuram ve Özçelik yaptıkları çalışmada, Al 7075 malzemesinin küresel uçlu parmak freze ile mikro frezelemede Taguchi tabanlı gri ilişkisel analizi kullanarak çoklu optimizasyonunu gerçekleştirmiştir. Devir sayısı, dış başına ilerleme ve talaş derinliğinin takım aşınması üzerindeki etkileri, kuvvet ve yüzey pürüzlülüğü incelenmiştir. Deneyler sonucunda takım aşınmasını en aza indirmek için mil hızı 10.000 devir/dakika, dış başına ilerleme 0.5 µm/diş ve talaş derinliği 50 µm olarak belirlenmiştir. İş mili hızı ve kesme derinliği artmasıyla aşınma miktarının arttığı gözlenmiştir. Ra için optimum parametrelerin iş mili hızı 12.000 devir/dakika, dış başına ilerleme 0.5 µm/diş ve kesme derinliği 50 µm olarak tespit edilmiştir. Ra üzerinde dış başına ilerleme önemli bir faktör olarak belirlenmiştir [16].

Seymen çalışmasında, kesici takım çapının yüzey pürüzlülüğüne etkisini araştırmıştır. Deneylerde 8 mm ve 10 mm çapa sahip DLC kaplamalı parmak frezeler kullanılarak, Al7075 malzemesinin işlenebilirliğine etkisi araştırılmıştır. Deneyler esnasında soğutma sıvısı kullanılmamıştır. Yüksek kesme hızlarında 10 mm çapındaki takımın yüzey pürüzlülüğündeki etkisinin daha olumlu olduğu belirlenmiştir [17].

Öktem çalışmasında, kalıp parçalarının freze ile işlenmesi sonucunda oluşan yüzey pürüzlülüğünün optimizasyonu araştırmıştır. Deney malzemesi olarak Alüminyum 7075-T6 ile AISI 1040, kesici takım malzemesi ise PVD yöntemiyle kaplanmış AlTiN seçilmiştir. Yapay Sinir Ağları (Artificial Neural Network) ve yanıt yüzey yöntemi ile tahmini matematiksel modeller oluşturularak yüzey pürüzlülük değerleri elde edilmiştir. Bu modellerle en iyi yüzey kalitesi için optimum parametreler belirlenmiştir. Optimizasyon yardımıyla, pürüzlülüğe bağlı yüzey kalitesinde geliştirmeler sağlanmıştır. Alüminyum 7075-T6 malzemesinde AISI 1040 çelik malzemeye kıyasla düşük yüzey pürüzlülük değerleri elde edilmiştir [18].

Uğur yaptığı çalışmada, Al 7075 malzemesinin frezelenmesi incelenmiştir. Deneyler kuru işleme şartlarında gerçekleştirilmiştir. Talaş kaldırma esnasında kesme parametrelerini optimize etmeyi hedeflemişlerdir. Yanıt yüzey metodu ile üç seviyeli Box-Behnken deney tasarımı oluşturulmuştur. Kesici takım olarak 12 mm çapında ve 0,6 mm köşe radiusuna sahip parmak freze kullanılmıştır. İşleme sonrasında iş parçasının yüzey kalitesine bakılmış, etki eden kesme parametreleri optimize edilmiştir. Yüzey pürüzlülüğüne etki eden en önemli parametrenin ilerleme miktarı olduğu, kesme hızının yüzey pürüzlülüğüne etkisinin çok olmadığı sonucuna varılmıştır. En iyi yüzey pürüzlülüğü değerinin 0,13 mm/dev ilerlemede, 90,06 m/dk kesme hızında ve 0,85 mm kesme derinliğinde elde edildiği belirtilmiştir [19].

Pınar ve arkadaşları, Al 7075 alaşımının işlenmesinde kesme hızı, ilerleme oranı, işleme deseni ve talaş derinliği gibi parametrelerin ortalama yüzey pürüzlülüğüne etkisini incelemişlerdir. Pınar ve arkadaşları çalışmada Taguchi metodu kullanmışlardır. Al 7075 alüminyum alaşımında cep işleme operasyonu gerçekleştirilmiştir. Deneylerde 14 mm çapında ve 90° giriş açısına tek uçlu parmak freze ile uç yarıçapı 0.8 mm olan kaplamasız sementit karbür parmak freze kullanılmıştır. Kesme hızları 100 m/dk, 200 m/dk, 300 m/dk, ilerleme hızları 150 mm/dk, 675 mm/dk, 1200 mm/dk, tek yönlü, paralel ve spiral işleme deseni belirlenmiştir. Talaş derinliği ise 1 mm, 1,75 mm, 2,5 mm olarak seçilmiştir. Sunulan çalışmada, ortalama yüzey pürüzlülüğünün kesme hızı ile ters orantılı olduğu ilerleme oranı ve talaş derinliği ile doğru orantılı olduğu belirtilmiştir. 300 m/dk kesme hızı, 150 mm/dk ilerleme miktarı, spiral işleme deseni ve 1 mm talaş derinliği ile yapılan deneylerde ortalama yüzey pürüzlülüğü 0,45107 μm olarak tahmin edilmiştir [20].

Buğdaycı çalışmasında, Alüminyum 7050 malzemesinin işlenmesinde parmak frezelerin takım ömürleri üzerine araştırma yapmıştır. Mekanistik kalibrasyon yöntemi ile talaş kaldırma esnasında kesici takımlardaki kuvvetler modellenmiştir. Elde edilen değerler kullanılarak kesici takım üzerindeki sıcaklık dağılımı ve işlem esnasında açığa çıkan ısı verileri elde edilmiştir. Sıcaklık ve kuvvet değerleriyle kesici takımın aşınması incelenmiştir. Kesme şartları ve kesici takımlara bağlı olarak kesici takım maliyetlerinde %85'e varan iyileştirmeler yapılabileceği tespit edilmiştir [21].

Benardos ve Vosniakos, Al alaşımının CNC yüzey frezelemede Ra değerinin tahminini yapmak için Taguchi yöntemini kullanmışlardır. Deneyde göz önünde bulundurulan faktörler, kesme derinliği, diş başına ilerleme hızı, kesme hızı, kesici takımın aşınması, kesme sıvısının kullanımı ve kesme kuvvetinin üç bileşeni olmuştur [22].

Durmuş çalışmasında, AL 7075 malzemesinin işlenebilirliği üzerinde araştırma yapmıştır. Düz uçlu karbür kesici takım ve küresel uçlu yüksek hız çeliği kesici takım kullanılmıştır. Ortalama yüzey pürüzlülüğü referans alınarak talaş kaldırma sırasında kesici takım aşınmasına bakılmıştır. Çalışma sonucunda, takımın çap ve uç profiline bağlı olarak kesici takım kenarında talaş yığılması (BUE) olduğu belirlenmiştir. Düz uçlu karbür kesici takımlarla yapılan deneylerde Ra değeri 0,791-1,527 iken küresel uçlu yüksek hız çeliği kesici takımlarla yapılan deneyler Ra değeri 0,236 ile 0,358 elde edilmiştir [23].

Simunovic ve Saric, yüzey frezeleme işleminde yüzey pürüzlülüğü tahmini üzerine araştırmalar sunmuşlardır. Modelleme verileri, merkezi karma deney tasarımı tarafından toplanmıştır. Giriş değişkenleri kesme hızı, ilerleme ve kesme derinliğidir. Modelleme sürecinde yazarlar regresyon modelleme ve Yapay Sinir Ağları kullanmışlardır [24,25].

Tazegül çalışmasında, Al 7075-T6 alaşımının mikro frezelenmesi sırasında nano kristal elmas kaplamanın etkisi ve değişken kesme parametrelerinin kesme kuvvetinin değişimine etkisi incelenmiştir. Deneyler kuru kesme şartlarında gerçekleştirilmiştir. Deneylerde kesici takım kaplamasının yüzey kalitesi ve oluşan çapak boyutundaki etkisine bakılmıştır. Nano kristal elmas kaplamanın ve artan devir sayısının, kesme kuvvetlerinde azalmaya sebep olduğu sonucuna varılmıştır. Kaplama, Ra değerinin yaklaşık %29 azalmasını sağlamış ve kaplama malzemesi, çapak genişliğinin de azalmasına sebep olmuştur. Deneylerden elde

edilen verilerle göre alüminyum esaslı alaşımların mikro frezelenmesinde nano elmas kaplamanın kullanılabileceği belirtilmiştir [26].

Hüseyinoğlu, 7075 alüminyum alaşımı üzerine çalışmıştır. Deneylerde kullanılan soğutma sıvısı minimum tutulmuş ve geleneksel soğutma tekniği kullanılmıştır. Bu şartlar altında frezeleme işlemi sırasında performans karakteristikleri üzerinde işleme parametrelerinin etkisi incelenmiştir. Performans çıktıları olarak yüzey kalitesi ve çapak yüksekliğine dikkat edilmiştir. Deneylerde çapak oluşumu görülmemiştir. Bu sebeple yüzey kalitesine bakılmıştır. Deneylerde ilerleme hızı ile yüzey pürüzlülüğünün doğru orantılı olduğu fakat devir sayısı ile yüzey pürüzlülüğünün ters orantılı olduğu tespit edilmiştir. Ayrıca karbür takımlarla yapılan deneylerde elde edilen yüzey pürüzlülüğü değerinin TiN ve HSS takımlara göre daha düşük olduğu görülmüştür [27].

2.2. Takım Geometrisi ile İlgili Yapılan Çalışmalar

Aydın çalışmasında, farklı parmak frezelerin kesme kuvvetleri, yüzey kalitesi ve takım çalışmaları üzerindeki etkilerini araştırmıştır. Bu çalışmada AISI 316L malzemesi kullanılmıştır. Çalışma sırasında değişken talaş ve helis açılara sahip dalga formlu parmak frezeler ile standart parmak frezeler kıyaslanmıştır. Çalışma sonucunda kesme kuvvetleri ve yüzey pürüzlülük değerleri için; dalga formlu takımların daha avantajlı olduğu görülmüştür. Negatif talaş açılı bölgelerin sebep olduğu negatif etkiler, pozitif talaş açılı bölgelerin sağladığı avantajlara göre daha baskın gelmiştir [28].

Song ve arkadaşları benzer çalışmasında, farklı kesici ağız açılara ve farklı helis açılara sahip parmak frezelerin, kesme kuvvetlerine ve kesme kararlılığına etkisini incelemiştir. Yapılan çalışmada parmak frezeleme devir sayısı kararlılık sınırları 5.500–6.500 dev/dk ve 8.500-13.000 dev/dk olarak tespit edilmiştir. Yüksek devirlerde bu kararlılığın bozulduğu gözlenmiştir. Deneylerde kullanılan 20 mm kesici çapı için optimal yapısal parametreler 40-45 ° helis açılı ve üç kanallı form önerilmiştir [29].

Mahesh ve Rajesh yaptıkları çalışmada, Taguchi-Fuzzy yaklaşımı kullanarak Al 7075T6 alüminyum alaşımının CNC’de optimum proses parametrelerin seçimini araştırmışlardır. Girdi olarak dikkate alınan parametreler kesme hızı, ilerleme, kesme derinliği ve burun yarıçapıdır. Taguchi yönteminde 4 faktörlü ve 3 seviyeli L 27 dik dizisi seçilmiş ve S / N

oranları hesaplanmıştır. ANOVA uygulaması ile burun yarıçapı ve kesme derinliği varyansın yaklaşık %31'ine katkıda bulunan en önemli parametreler olarak tanımlanmıştır. Deneysel sonuçlar, yüzey pürüzlülüğü ve malzemede önemli bir iyileşme olduğunu göstermiştir. Birim zamanda kaldırılan talaş miktarını etkileyen en önemli parametreler burun yarıçapı ve kesme derinliği olarak belirlenmiştir [30].

Okafor ve Sultan çalışmalarında, altı kesici ağza sahip dalga formlu kesici takımların dalga formunun nümerik olarak analizini incelemişlerdir. Parmak frezeler değişken helisel kenara ve helis açısına sahiptir. İş parçası olarak Inconel 718 malzemesi seçilmiştir. Deney esnasında farklı kesme hızları kullanarak kesme kuvvetleri arasındaki farkı araştırmışlardır. Standart emülsiyon kesme sıvıları ve MQL (Minimum Quantity Lubrication) uygulamaları kullanmışlardır. Ayrıca kesme kuvvetinde dalga boyu ve genliğinin kesme kuvvetine etkisine bakarken helis açısının da etkisini incelemişlerdir [31].

Wojciechowski ve arkadaşları, kesme kuvvetleri ve titreşimi azaltarak yüzey kalitesini iyileştirmek için kesici takımındaki doğru eğim açısının belirlenmesi üzerine çalışmışlardır. Bu doğrultuda süreç tepkilerinin azalması için sinyal gürültü S/N oranı ve gri ilişkisel analizi (GRA) uygulamışlardır. Çalışma sonucunda, titreşim değerlerindeki hızlanmada, takım üzerindeki çıkıntı değişiminin etkisi olduğu, takım taşma miktarı 63 mm ve yüzey eğim açısı 60° seçildiği belirtilmiştir. Bu parametrelerin Ra ve Rz değerleri üzerinde olumlu etki ettiği sonucuna varılmıştır [32].

Hartomacıoğlu çalışmasında, kesici takım geometrisi ve işleme yöntemlerinin, form hatası ve yüzey pürüzlülüğüne etkisini araştırmıştır. Deneylerde kullanılan iş parçası serbest şekilli yüzeylere sahiptir. Kesici takım olarak küresel uçlu parmak freze kullanılmıştır. Deneyler sırasında kesici takımda oluşan sehim ve kesme kuvvetleri değerlerine bakılmıştır. Form hatası ve yüzey pürüzlülüğünde; kesici takım geometrisinin ve işleme yöntemlerinin etkisinin önemli olduğu tespit edilmiştir [33].

Aslantas ve Alatrushi, zor işlenen Inconel 718 malzemesi üzerine çalışmışlardır. Kesici takım olarak, farklı kesici ağız sayılarına sahip değişken talaş ve helis açılarında parmak frezeler kullanılmıştır. Deneylerde takım aşınması ve kesme kuvvetleri incelenmiştir. Helis açısının artmasıyla takım aşınmasının da arttığı fakat kesme kuvvetlerinde düşme meydana geldiği görülmüştür. Kesici ağız sayısının artmasının ise kesme kuvvetleri ve takım

aşınmasının azalmasına sebep olduğu belirtilmiştir. Ayrıca pozitif eksenel talaş açısının kesme kuvvetlerini düşürdüğü ancak yan yüzey aşınmasını arttırdığını, negatif eksenel talaş açısının ise takım aşınmasını olumlu etkilediği sonucuna varılmıştır [34].

Wan ve arkadaşları çalışmalarında, değişken helis açılı parmak frezelerin kesme kuvvetine etkisini incelemiştir. İşleme sırasında en düşük kesme kuvvetinin elde edilmesi için kesici ağız sayısı, kesici takım çapı ve kesme derinliği gibi parametrelere bağlı olarak uygun helis açısının belirlenebileceğini ifade etmişler ve minimum helis açısının hesaplanacağı bir model türetmişlerdir [35].

Burek ve arkadaşları, $AlZn5.5CuMg$ alüminyum alaşımının işlenmesinde farklı dalga formuna sahip kaba talaş kesici takımları kullanmışlardır. Deneyler esnasında kesme kuvvetlerini, talaş formlarını ve titreşim genliklerini incelemiştir. Helisel kesici kenardaki farklı dalgalı forma sahip kaba talaş takımlardaki kesme kuvvetinin standart kesici takıma göre daha düşük olduğu sonucuna varılmıştır. Deneylerde kısa ve kopuk talaş oluşumu ayrıca yüksek titreşim görüldüğü belirtilmiştir [36].

2.3. Literatür Değerlendirmesi

Literatürde yapılan çalışmalar şu şekilde değerlendirilebilir:

- Frezeleme işleminde farklı geometrilere sahip kesici takımlar, farklı uç radyusları, farklı uç ve eğim açıları, kesici ağız sayıları gibi takım geometrisinin, malzemenin işlenebilirliğine etkisi araştırılmıştır. Ayrıca yapılan bazı çalışmalarda kaplamalı ve kaplamasız takımların da işlenebilirliğe etkisi araştırılmıştır.
- Kesici takımdaki eğim açısı, burun yarıçapı, helisel dalga formu, farklı uç geometrileri gibi durumların yüzey pürüzlülüğünü etkilediği görülmüştür.
- Yüzey pürüzlülüğü ve kesme kuvvetleri üzerine yapılan çalışmaların çoğunun kesme hızı, ilerleme miktarı, talaş derinliği, devir sayısı, işleme deseni gibi kesme parametreleri ile ilgili olduğu görülmüştür. Bu çalışmalarda yüzey pürüzlülüğünü etkileyen en önemli kesme parametresinin diş başına ilerleme miktarı olduğu belirtilmiştir. Ayrıca yüzey

pürüzlülüğü ile ilerleme miktarı ve talaş derinliği doğru orantılıyken, kesme hızı ile ters orantılı olduğu sonucuna varılmıştır.

Bu çalışmada, değerlendirilmiş diğer parametreler ve literatürden farklı olarak frezeleme işlemi esnasında parmak frezelerdeki köşe yuvarlatma işlemlerinin yüzey pürüzlülüğü ve kesme kuvvetleri üzerindeki etkisi araştırılmıştır. Buna bağlı olarak dört farklı kesici takım kullanılmıştır. Keskin kenara sahip parmak freze ve helisel dalga formlu kesici takım ile iki farklı köşe yuvarlatma değerine sahip kesici takımlar kıyaslanarak optimum yüzey pürüzlülüğünün elde edildiği deney tasarımlarının belirlenmesi amaçlanmıştır. Bu deneylerde üç farklı kesme hızı ve iki farklı diş başına ilerleme miktarı kullanılmıştır.

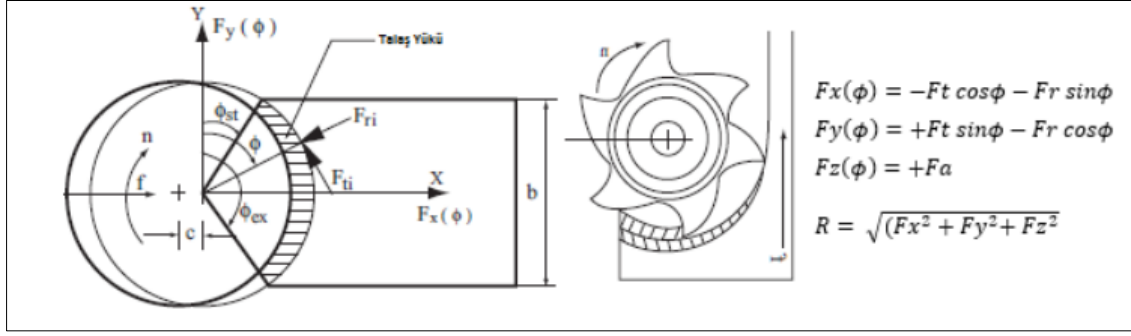
3. KURAMSAL TEMELLER

3.1. Frezeleme ve Kesme Kuvvetleri

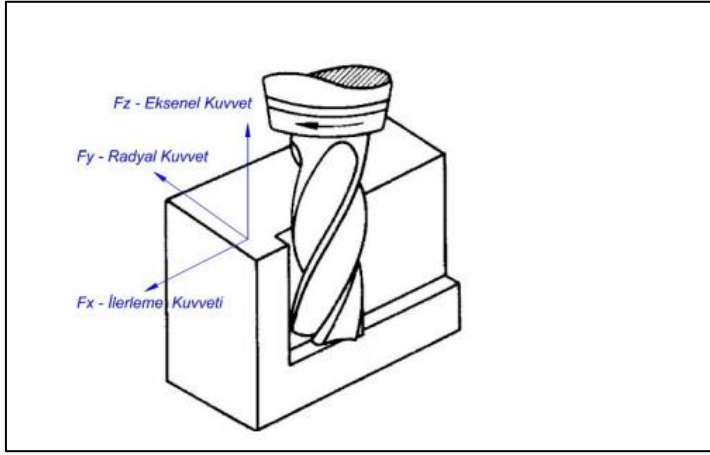
Frezelemede kesme, takımın kendi eksenini etrafında dairesel hareketi ve iş parçasının doğrusal ilerleme hareketi ile gerçekleşen temel bir kesme operasyonudur ve her kesici ağız kısa bir süre parçayı keser. Frezelemede maksimum verim için tezgâh teknolojilerindeki gelişmelere paralel olarak, takım ve talaş geometrisi üzerinde de çalışmalar yapılmaktadır [37].

Frezeleme işleminin mekanizmasını anlamak için Şekil 3.1’de gösterilen basit bir frezeleme işleminden yola çıkılabilir. Talaşın oluşturulmasında, basit bir "kesme düzlemi" modeli düşünülürse, kesici takımın iş parçasından talaş kaldırmaya başladığı noktada oluşur. Kesme kenarı, kesme kuvveti tarafından çalıştırılan işin içine girer. Böylece talaşın malzemeden ayrılmasına sebep olur. Talaş malzemeden ayrıldıkça metal plastik olarak deforme olur. Talaş kalınlığı her zaman kesme derinliğinden daha büyüktür. Belirli bir uygulama için tüm takım geometrilerini, malzeme seçeneklerini özellikle her birinin uygulanabileceği hız, ilerleme aralığı ve tipik arıza modlarını dikkate almak önemlidir [38]. Talaş kaldırma işlemini gerçekleştirmek için kesme düzleminde meydana gelen dirençlere karşı, kesici takıma talaş kaldırma kuvveti uygulanır. Frezelemede kesici kenara etki eden kesme kuvvetleri, ilerleme kuvveti (F_x), radyal kuvvet (F_y) ve eksenel kuvvet (F_z) olarak üç ana kuvvetten oluşmaktadır (Şekil 3.2). Bu kuvvetlerin bileşenleri ile bileşke kesme kuvveti (F_R) hesaplanır [28]. Talaş kaldırma sırasında oluşan kesme kuvveti F_x , F_y , F_z yönlerinde tespit edilir. Bu kuvvetler kullanılarak üç eksendeki F_R bileşke kuvveti Eşitlik 3.1’de verilen formül ile hesaplanır (Şekil 3.3) [38].

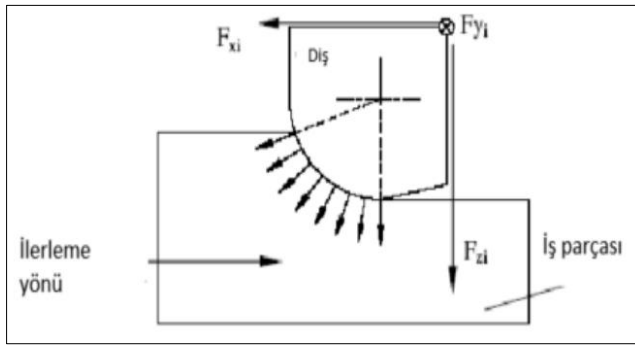
$$F_R = \sqrt{((F_x)^2 + (F_y)^2 + (F_z)^2)} \quad (3.1)$$



Şekil 3.1. Frezeleme işleminde temel kuvvetler [28]



Şekil 3.2. Frezeleme işlemindeki ana kesme kuvvetleri [28]



Şekil 3.3. İşleme sırasında oluşan kuvvet yönleri [38]

Frezeleme ile kesme işlemlerinde oluşan kuvvetler frezeleme yöntemi, kesici takım ve iş parçası malzemesi, kesici takım ve iş parçası geometrisi, kesici kenarlar arasındaki mesafe, kesme eğim açısı, kesme hızı, talaş derinliği, ilerleme miktarı, aşınma gibi faktörlere bağlıdır [37]. Kesme kuvvetleri hesaplanırken hesabı kolaylaştırmak için ortalama talaş kesitine karşı gelen ortalama kesme kuvveti kullanılır. Frezeleme ile kesme işleminde kesici takımın bir kesici ağzı üzerine gelen kuvvetler; bir kesici uca karşılık gelen ortalama talaş kaldırma

kuvveti (F_{zz}), ortalama radyal kuvvet (F_{rz}), ortalama kesme kuvveti (F_{cz}) ve ortalama ilerleme kuvvetidir (F_{fz}).

Eş zamanlı olarak iş parçasından malzeme kaldıran kesici takımın kesici uç sayısı;

$$z_e = z_x \phi_s / 360 \quad (3.2)$$

eşitliği ile ifade edilir.

Frezeleme işleminde kullanılan kesici takımın kesici ağızlarının hepsine karşılık gelen ortalama kesme kuvvetleri;

$$F_c = Z_e \times F_{cz} \quad (3.3)$$

$$F_f = Z_e \times F_{fz} \quad (3.4)$$

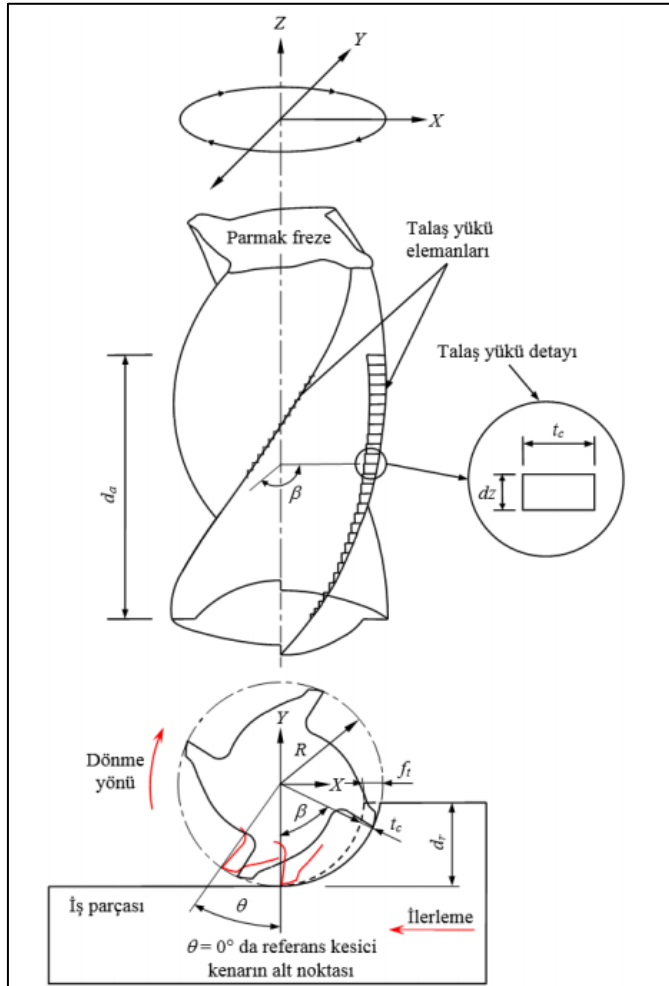
$$F_r = Z_e \times F_{rz} \quad (3.5)$$

bağıntıları ile bulunur. Burada Z_e kesici takımın toplam ağız sayısını ifade eder [39].

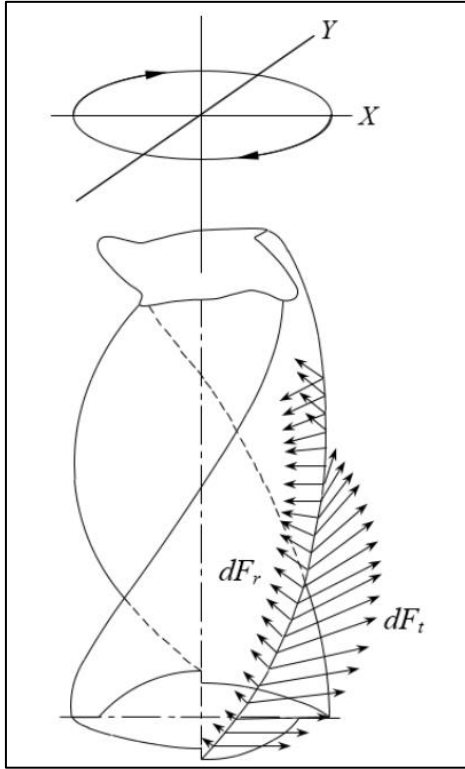
Aynı yönlü frezeleme işleminde, talaş kaldırma esnasında kesici takımın dönme yönü ile iş malzemesinin ilerleme yönü aynıdır. Bu şekilde talaş kaldırma işleminde talaş kalınlığı, en yüksek değerden sıfıra doğru azalır. Bunun sebebi kesme işleminin yönünün yukarıdan aşağıya doğru olmasıdır. Aynı yönlü frezelemede, talaş kaldırmaya başlanıldığı an kesme kuvvetinin en yüksek olduğu değerde takım ömrü açısından olumsuz bir durum oluşur. Buna rağmen kesme kuvvetlerinin iş parçasını tezgâha bastırması tezgâh ile parça arasındaki boşlukların olabildiğince düşmesini ve kesme anında bu boşlukların sebep olduğu titreşimlerin azalmasını sağlar. Titreşimin azalmasından dolayı işlenen parçada daha iyi bir yüzey kalitesi elde edilir [40]. Aynı yönlü frezelemede elde edilen talaşın uzunluğu, takımın kesici ağzının malzemenin yüzeyine daha kısa temas etmesinden kaynaklı olarak, zıt yönlü frezelemede elde edilen talaşın uzunluğundan daha kısadır. Bu durumun, takım ömrünün artmasına yol açtığı bilinmektedir [41].

Talaş yükünü, parmak frezelemedeki diferansiyel teğetsel ve radyal kuvvet bileşenleriyle ilişkilendiren ve ampirik ilişkileri kullanan mekanistik kuvvet tahmin modelleri

geliştirilmiştir. Mekanistik kuvvet tahmin modeline dayalı zaman-bölgesi benzetiminde, kuvvetler dt zaman adımlarında sayısal integrasyonla ve her bir zaman adımında kesici takımı $d\theta$ açıyla döndürerek belirlenmiştir. Aynı yönlü frezeleme genellikle havacılık ve uzay uygulamalarında kullanılmaktadır. Şekil 3.4 aynı yönlü frezeleme için düz uçlu parmak frezeleme işleminin geometrisini, koordinat sistemini ve kesici kenarlar üzerindeki talaş yükü elemanlarını göstermektedir. Kesme kuvvetlerini tanımlamak için orijini kesici takım ekseninin alın düzlemi ile kesişen bir koordinat sistemi kullanılmıştır. X yönü, iş parçasına göre kesici takım ilerleme yönünü belirtmektedir, Z yönü kesici takım eksenini boyunca yukarı doğrudur ve Y yönü ilerlemeye diktir. Şekil 3.5 kesici kenar boyunca etki eden diferansiyel kuvvet bileşenleri ile parmak frezenin üç boyutlu geometrisini göstermektedir [42].



Şekil 3.4. Aynı yönlü frezeleme işlemi [42]

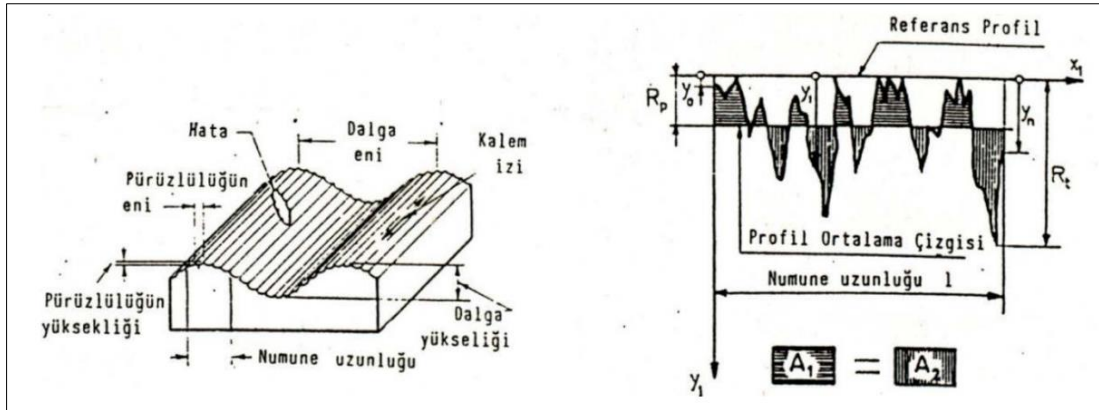


Şekil 3.5. Kesme kuvveti bileşenleri ile üç boyutlu parmak freze geometrisi [42]

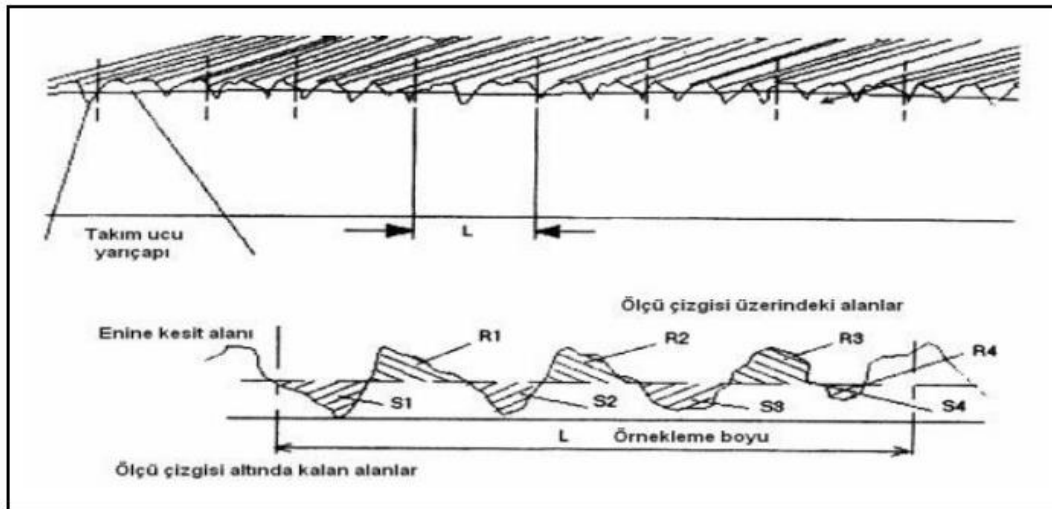
3.2. Yüzey Pürüzlülüğü

İşlenmiş yüzeylerde iki çeşit deneysel sapma meydana gelmektedir. Bunlar dalga ve yüzey pürüzlülüğüdür. Geometrik sapma grubuna giren dalga, yüzey kalitesini belirlemek için önemli bir unsurdur. Yüzey pürüzlülüğü ise standarttır. Yüzey pürüzlülüğü; parça geometrisi ve yüzeyinde oluşan dalgalanma dikkate alınmadan belirlenmiş bir kısımda yüzey üzerindeki girinti ve çıkıntıların tümüdür. Yüzeye dik bir kesitteki belirli bir numune uzunluğu boyunca, belirli bir referans profili ve profilin ortalama çizgisi kriterlerine göre belirlenir (Şekil 3.6). Yüzey pürüzlülüğü; talaş kaldırma esnasında seçilen kesme parametrelerine (kesme hızı, ilerleme miktarı, talaş derinliği) bağlıdır. Yüzey pürüzlülüğünün üç boyutlu gösterimi ve yüzey profili Şekil 3.7’de verilmiştir. Talaş kaldırma işlemi olmasa dahi her parçanın yüzey pürüzlülük değeri vardır. İmalat ve makine endüstrisinde yüzey pürüzlülüğü önemli bir yere sahiptir ve büyüklüklerine göre sınıflandırılmaktadır. İş parçasının yüzey kalitesini tespit etmek; makine ve takım ömrünün tespit edilmesi, çalışma veriminin artması, montaj hatalarının ortaya çıkmaması gibi birçok sebepten dolayı üretimin doğruluğu ve devamlılığı için önemli bir parametredir. Yüzey kalitesi, ürün maliyetini etkilemektedir.

Yüzey pürüzlülük değeri, pürüz yüksekliği R_t değerinin ortalama değeri olan R_a ile ifade edilmektedir. R_t ; seçilmiş örnek uzunluk sınırlarında, profil çukurları çizgisi ile profil tepeleri arasındaki mesafe olarak da tanımlanır. R_t değeri seçilen yüzey için her ölçümde farklılık gösterirken, R_a değeri istenilen yüzey kalitesine göre standarttır. Bu değer üretim yöntemi ve işleme stiline göre belirli limitler arasında olmaktadır [43-45].



Şekil 3.6. Yüzey pürüzlülüğünün değerlendirilmesi [28]



Şekil 3.7. Yüzey pürüzlülüğünün üç boyutlu gösterimi ve yüzey profili [45]

Talaşlı imalat yöntemi ile üretilen parçalarda genel olarak ortalama yüzey pürüzlülüğü (R_a) dikkate alınır. Yüzey pürüzlülüğünün çok önemli olduğu durumlarda yüzey pürüzlülüğünü değerlendirmek için kalite kontrolü gerekir. Bunun için uluslararası yüzey pürüzlülük standartları belirlenmiştir. Ülkemizde TS 2040 numaralı standartla yüzey kaliteleri bir standarda bağlanmıştır. Daha sonra bunu TS 2495, TS 971, TS 2578, TS 6596 ve TS 930 standartları izlemiştir [46]. Yüzey kalite ve pürüzlülük değerleri Şekil 3.8’de verilmiştir.

Sembol	N1	N2	N3	N4	N5	N6	N7	N8	N9	N10	N11	N12
Pürüzlülük	N1	N2	N3	N4	N5	N6	N7	N8	N9	N10	N11	N12
Ra (μm)	0,025	0,05	0,1	0,2	0,4	0,8	1,6	3,2	6,3	12,5	25	50

Şekil 3.8. Yüzey kalite ve pürüzlülük değerleri [44]

Talaş kaldırılan yüzeyin toleransı ve doğruluğu için ISO ve DIN standartlarında kullanılan parametreler;

Ra: ortalama pürüzlülük değeri, μm

Ry: en büyük pürüzlülük değeri, μm

Rt: profilin maksimum değeri, μm

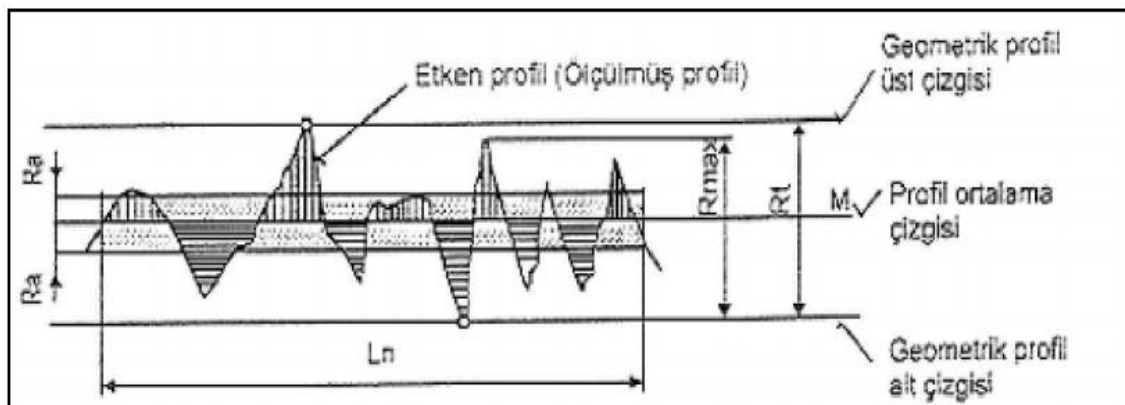
Rz: 5 tane en yüksek 5 tane en alçak noktanın ortalaması, μm

Rmax: en büyük pürüzlülük derinliği, μm

Rp: profilin maksimum tepe yüksekliği [47].

3.2.1. Ortalama yüzey pürüzlülüğü (Ra)

Ortalama yüzey pürüzlülüğü, Ra sembolü ve “ μm ” birimi ile endüstride kullanılmaktadır. Ortalama merkezi çizgi (center line average) olarak da kullanılan Ra, parçaya ait L uzunluğu boyunca merkez çizgisinden ölçüm uzunluğuna kadar olan mesafeden pürüzlülük düzensizliklerinin (yükseklik değişimlerinin) mutlak değerlerinin aritmetik ortalamasıdır (Şekil 3.9). Dünyada kabul edilmiş yüzey pürüzlülük parametresidir. [48-50].



Şekil 3.9. Ortalama yüzey pürüzlülüğü [50]

Ra ortalama yüzey pürüzlülüğü matematiksel olarak;

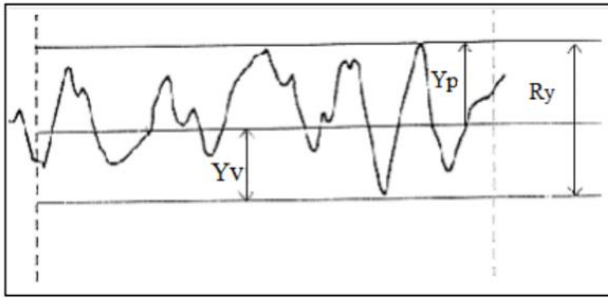
$$R_a = \frac{1}{L} \int_0^L |x| dx \quad (3.6)$$

$$R_a = \frac{|y_1| + |y_2| + \dots + |y_n|}{n} \quad (3.7)$$

gibi ifade edilmektedir [50].

3.2.2. Profildeki en büyük iki noktanın yüksekliği (Ry)

Ry, Şekil 3.10’da belirtildiği gibi ortalama çizgisine göre, üstte kalan en yüksek tepenin yüksekliği olan Yp ile alta kalan en derin girintinin derinliği olan Yv’nin toplamıdır [51].



Şekil 3.10. Profildeki iki en büyük noktanın yüksekliği, Ry [51]

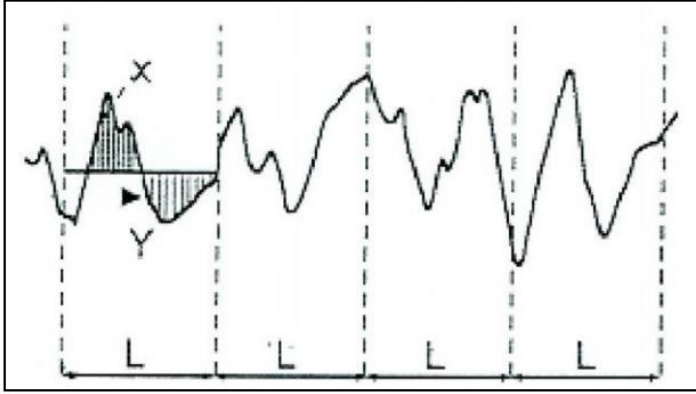
3.2.3. Profil karelerinin ortalamasının karekökü (Rq)

Rq, profil ortalama çizgisi ile oluşturduğu yükseklik değişimlerinin karelerinin ortalamasının karekökü olarak tanımlanmaktadır (Şekil 3.11). Ra’dan daha hassas bilgi veren Rq’nun matematiksel ifadesi;

$$Rq = \left(\frac{1}{N} \sum Y_i^2 \right)^{1/2} \quad (3.8)$$

$$Rq = \sqrt{\frac{1}{L} \int_0^L x^2 |x| dx} \quad (3.9)$$

ile ifade edilebilir [52].



Şekil 3.11. Profilin Karelerinin ortalamasının karekökü [52]

3.2.4. Profilin maksimum yüksekliği (Rz) ve maksimum tepe yüksekliği (Rp)

Rz, on nokta yüksekliği olup örnekleme uzunluğu içinde 5 derin çukur ve 5 en yüksek tepe noktaları arasında ortalama mesafeyi gösterir. Rp, ise örnekleme uzunluğu içinde ortalama çizgi ile profilin en yüksek noktaları arasındaki mesafedir. Rpm ise 5 örnekleme uzunluğu üzerinde belirlenen Rp'nin ortalama değeridir. Rz ve Rpm'nin matematiksel olarak;

$$Rz = \frac{(R_1 + R_2 + R_4 + R_6 + R_9) - (R_3 + R_5 + R_7 + R_8 + R_{10})}{L} \quad (3.10)$$

$$Rpm = \frac{(R_{P1} + R_{P2} + R_{P3} + R_{P4} + R_{P5})}{5} = \frac{1}{5} \sum_{i=1}^{i=5} R_{Pi} \quad (3.11)$$

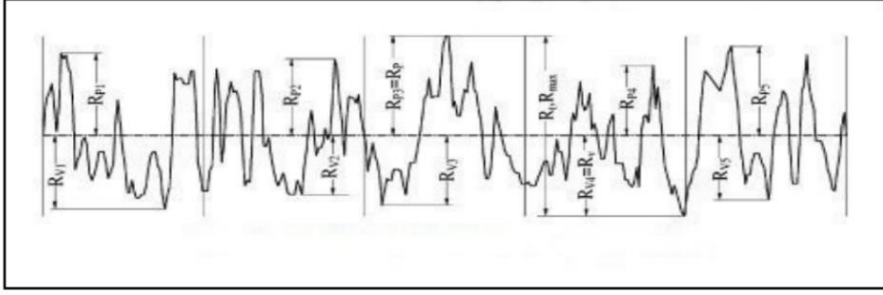
ifade edilir [50].

3.2.5. Maksimum profil yüksekliği (Rmax)

Maksimum tepe yüksekliği (Rp); ortalama çizgi üstünde oluşan en uzun tepe yüksekliğidir. Maksimum çukur derinliği (Rv); ortalama çizgisi altında oluşan en derin çukurdur. Maksimum profil yüksekliği (Rt-Rmax); en büyük tepe yüksekliği ile en derin girintinin mutlak olarak toplamıdır (Şekil 3.12). Matematiksel olarak;

$$R_{max} = R_p + R_v \quad (3.12)$$

şeklinde ifade edilir [50].



Şekil 3.12. R_v , R_p , R_t - R_{max} yüzey pürüzlülük parametreleri [50]

Yüzey kalitesini değerlendirmek için birçok cihaz ve yöntem mevcuttur. Mühendislik alanındaki örnekleri;

- Elektrik ile çalışan sivri uçlu ölçme cihazları,
- Yüzeye dokunarak ölçümün sağlandığı mekanik cihazlar,
- Farklı tipte ışık interferans mikroskopları,
- Yüzey kopyalarının elde edilmesini sağlayan cihazlar

şeklinde sıralanabilir [53].

Yüzey dokusunun sayısal olarak değerlendirebilmek için; numune uzunluğu ölçüm aralığı, değerlendirme uzunluğu ve izleme uzunluğu kullanılır. Numune uzunluğu (sampling length), pürüzlülüğün değerlendirilmesi için bir referans olup ölçüm aralığının dalga boyuna eşittir. Bir parametre için yapılan tek bir değerlendirme üzerindeki yüzey uzunluğudur. Ölçüm aralığı (cut-off length), dalgalılık ve pürüzlülük gibi iki parametreye ait dalga boylarını belirleyen bir profil filtredir. Değerlendirme uzunluğu (evaluation length), bir ölçümün yapıldığı gerçek yüzey uzunluğudur. İzleme uzunluğu (traverse length) ise kısa yüzeylerin ölçülmesi esnasında numune uzunluğunu sınırlamak için gereklidir [54].

3.3. İşlenebilirlik

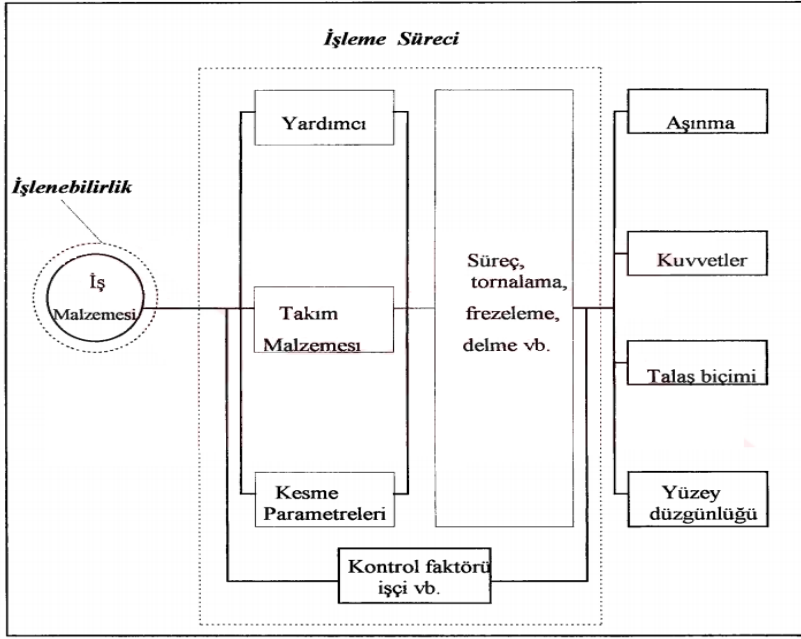
Dövme, dökme, haddeleme vb. yöntemlerle üretilen metal parçaların %80'inden fazlası son biçim ve boyutlarına talaşlı üretim yöntemleriyle getirilirler. Üretim esnasında kullanılan kesici takımların kırılmasına, aşınmasına veya deformasyona uğramasına uygun olmayan kesici parametrelerinin seçilmesi sebep olmaktadır. Bu durum; parçanın işlenmesindeki sürenin artması, iş parçası boyutlarının bozulması veya parçanın yüzey kalitesinin ikinci bir

işlem gerektirecek durumda olması gibi maliyeti artıracak sonuçlara sebep olmaktadır. İş malzemesinin işlenebilirlik özellikleri önceden iyi tespit edilmemişse yukarıdaki kayıplar kaçınılmazdır [55].

Son yıllarda talaşlı üretim sektöründe çalışılan başlıca problemlerden birisi de işlenebilirliktir. Üretim esnasında nasıl daha hızlı, daha ucuz, daha kaliteli üretim yapılabilir sorularına cevap aranmaktadır. İşlenebilirlik hakkında literatürde çeşitli tanımlamalar olmasına rağmen kesin bir tanım söz konusu değildir. Bu tanımlamalar doğrultusunda bir yorum yapılacak olursa; İşlenebilirlik, bir üretim sürecinde takımın iş parçasını kesebilme ve iş parçasının da kesilebilme yeteneklerinin bileşimidir [56].

Takım tasarımı ve geliştirilmesi açısından kesici takımın çeşitli ve farklı özelliklere sahip malzemeler üzerinde geometrik performanslarının ölçülmesi büyük öneme sahiptir. Modern işleme metotları, takım değiştirme zamanını ve maliyetini en aza indirmeyi ve seri üretim alanlarında çok yönlü kullanmayı gerektirmektedir. Bu hedef doğrultusunda deneysel testler gerçekleştirilmekte ve işlenebilirlik deneyleri ile sonuç elde edilmeye çalışılmaktadır. Bu testler; iş parçası malzemelerini, kesici takımları ve karakteristiklerini kapsamaktadır [57]. Aynı zamanda işlenebilirlik, bir malzemenin talaş kaldırma işlemini etkileyen özelliklerin tamamı veya talaş kaldırma yöntemleri ile üretimin kolaylığı veya zorluğu olarak da tanımlanmaktadır [58]. Kullanılan malzemenin kimyasal bileşimi, mikroyapısı, saflık vb. işlenebilirliği etkileyen faktörlerdendir. Talaş oluşumu, takım aşınması, bitirme yüzeyi kalitesi ve kesme kuvvetleriyle de iş parçasının işlenebilirliği belirlenebilmektedir. İşlenebilirliği etkileyen faktörler Şekil 3.13'teki gibi özetlenebilir [59].

Talaş kaldırma miktarının; ilerleme miktarı, kesme hızı, talaş derinliği gibi parametrelere bağlı olduğu bilinmektedir. Talaş miktarı bu üç parametrenin değişmesiyle değişmektedir. İş malzemesinden kaldırılan malzeme miktarına talaş kaldırma miktarı denilmekle birlikte birimi mm^3/dk veya cm^3/dk cinsinden ölçülmektedir. Takım ömrüne; talaş derinliğindeki değişmelerin etkisi daha azken ilerleme miktarındaki değişmelerin etkisi daha fazladır. En büyük etki ise kesme hızındaki değişmelerde söz konusudur [60].



Şekil 3.13. İş kontrol halkası üzerinden gösterilen talaş kaldırma işlemleri [59]

Bir malzemenin işlenebilirliğini etkileyen faktörler;

- Talaşlı işleme tipi,
- Kullanılan tezgâhın, kesici takımın ve malzemenin rijitliği,
- Kullanılan kesici takımın özellikleri ve geometrisi,
- İş parçasının mekanik ve kimyasal kompozisyonu (malzemenin; mikro yapısı, tane boyutu, sertliği, akma dayanımı, çekme dayanımı, ısıl iletkenliği, ısıl genleşme katsayısı, deformasyon sertleşmesi),
- İşleme sırasında oluşan aşınma mekanizmaları ve kesici takım ömrü,
- Talaş kaldırma sırasında meydana gelen güç tüketimi ve kesme kuvvetleri,
- Kesme parametreleri (kesme hızı, ilerleme miktarı, kesme derinliği),
- Kesici takımın aşınmasına kadar kaldırılan talaş miktarı,
- Talaş tipi ve boyutları,
- İş parçasının işlenmesi esnasında ortaya çıkan ısı,
- İşlemeden sonra oluşan yüzeyin kalitesi

olarak listelenmiştir [57,59,61].

Freze çakıllarının işlenecek malzemeden daha sert olması gerekir. Böylece işleme sırasında oluşan gerilmelere karşı dayanıklılık gösterir. Kesici takımdaki aşınmayı ve ısınmayı azaltmak için sert maden uç tercih edilir. Kesme açılarının iş parçası malzemesine uygunluğu da kesici takımda aranılacak en önemli özelliklerdendir.

Kesici takım geometrisini, eksenel talaş açısı, talaş açısı, kama açısı, boşluk açısı, kesici takım yanaşma açısı, kesici takım radyal talaş açısı, yerleştirme açısı gibi açılar oluşturmaktadır:

- Boşluk açısı; kesici takım ucunun taban alt yüzeyinin işlenecek iş parçasına sürtünmesini önlemek amacıyla verilir.
- Kama açısı; kesici takım ucunun kesme özelliğinin sağlanması yani iş parçasına batmasını kolaylaştırmak için verilen bir açıdır. Bu açının değeri genellikle işlenecek parça malzemesine göre değişir.
- Talaş açısı; talaşın kesici takım yüzeyinden akarak uzaklaşmasını sağlayan açıdır.
- Eksenel talaş açısı; kesici takım ucunun iş parçasından talaş kaldırıp yüzeyinden talaşın aktığı açıdır [60].

3.4. Alüminyum Alaşımları

Gün geçtikçe kullanımı artan alüminyumun çok yönlü yapı ve mühendislik malzemeleri arasında önemli bir yeri vardır. Alüminyum hafif bir malzemedir ve alüminyum alaşımları yapı çeliklerine göre yüksek mukavemete sahiptir. Alüminyum alaşımı iyi elektriksel ve ısı iletkenliğe ayrıca düşük ergime noktasına sahip olup, kolay işlenebilir. Birçok hizmet koşulunda oldukça iyi korozyon direnci gösterir. Yüzey kalitesinde geniş aralığa sahip olan alüminyum alaşımı dökülebilirdir [62]. Düşük kesme gerilmesine sahip olan saf alüminyumun kesme kuvvetleri alaşımlı alüminyuma oranla çok daha yüksektir [63].

Tavlanmış haldeyken düşük dayanıma sahip olan saf alüminyumun (7-11 MPa) katı eriyik sertleştirilmesi ile dayanımı arttırılmaktadır. Çözünen atom, tavlama sıcaklığında eriyiğe geçerek, soğuma sonrası çözeltide kalarak ve diğer elementlerle reaksiyona girmeyerek bu artışı gerçekleştirmektedir [64].

Alüminyum alaşımları döküm ve dövme olarak ayrılabilir. Döküm alaşımlarında, ana alaşım elemanı silikonlu alaşımlar en önemli guruptur. Bu alaşımlar sert aşındırıcı silikon parçacıklar içermekte ve bu yüzden takım aşınmasına sebep olmaktadır (500 kg/mm^2). İlerleme miktarı ve kesme hızı düşükken bu alaşımların işlenebilirliği daha ekonomiktir. Çiftli alüminyum silikon alaşımlarına bakır ilave edildikçe dayanım artar ve azalan süneklilik sayesinde takım ömründe iyileşme görülür. İyi işlenebilirliğe sahip alaşımlar; alüminyum, magnezyum, alüminyum-çinko-magnezyum olarak sıralanabilir. Isıl işlem uygulanabilen ve ısıl işlem uygulanamayan dövme alüminyum alaşımları iki grupta incelenir. Kalay, bizmut, kurşun (düşük ergime noktalı çözünmez metaller) elementlerinin eklenmesi ile geliştirilmiş takım ömrüne ulaşılır [63]. Alüminyumun bazı özelliklerinin diğer metallerle karşılaştırılması Çizelge 3.1’de gösterilmiştir [65].

Çizelge 3.1. Alüminyumun bazı özelliklerinin diğer metallerle karşılaştırılması [65]

ÖZELLİK	Al	Cu	Fe	Zn	Mg
Özgül Ağırlık (g/cm^3)	2,70	8,94	7,87	4,1	1,74
Elektrik Direnci ($\text{Ohm.mm}^2/2 \cdot 10^{-2}$)	2,66	1,68	9,8	6,00	4,46
Isı İletkenliği ($\text{cal/cm}^2/\text{cm}^\circ\text{C}$)	0,52	0,92	0,19	0,27	0,37
Isıl Genleşme Kat. ($\text{mm/mm}^\circ\text{C} \cdot 10^{-6}$)	24	16,7	11,9	33	25,7
Ergime Sıcaklığı $^\circ\text{C}$	660	1083	1535	420	651
Yanma Isısı (kcal/kg)	6970	-	1600	1270	6000
Uzama (%)	43	50	48	-	-
Sertlik (BHN)	19	25	70	-	-

3.4.1. Alüminyum alaşımlarının sınıflandırılması

Alüminyum alaşımları farklı imalat yöntemleriyle üretilebilirler. Alaşımları, döküm ve dövme olarak iki grupta inceleyebiliriz. Dövme alaşımlar plastik deformasyon ile şekillendirilebilirken döküm alaşımları farklı kompozisyon ve mikroyapıya sahiptir. Çizelge 3.2’de alüminyum alaşımlarının sınıflandırılması gösterilmektedir [66].

Çizelge 3.2. Alüminyum alaşımlarının sınıflandırılması [66]

Dövme Alaşımlar		Isıl İşlem
1XXX	Ticari Safılıkta Al (>%99 Al)	Yaşlandırılmaz
2XXX	Al-Cu	Yaşlandırılabilir
3XXX	Al-Mn	Yaşlandırılmaz
4XXX	Al-Si veya Al-Mg-Si	Magnezyum varsa yaşlandırılabilir
5XXX	Al-Mg	Yaşlandırılmaz
6XXX	Al-Mg-Si	Yaşlandırılabilir
7XXX	Al-Zn-Mg	Yaşlandırılabilir
Döküm Alaşımlar		
1XXX	Ticari Safılıkta Al (>%99 Al)	Yaşlandırılmaz
2XXX	Al-Cu	Yaşlandırılabilir
3XXX	Al-Si veya Al-Mg-Si	Kısmen yaşlandırılabilir
4XXX	Al-Si	Yaşlandırılmaz
5XXX	Al-Mg	Yaşlandırılmaz
6XXX	Al-Mg-Si	Yaşlandırılabilir
7XXX	Al-Zn-Mg	Yaşlandırılabilir
8XXX	Al-Sn	Yaşlandırılabilir

3.4.2. Alüminyum alaşımlarının fiziksel ve mekanik özellikleri

Hafif metaller grubunda olan alüminyum, teknik alanda çok kullanılmaktadır. Hafif metaller grubuna giren elementlerin özgül ağırlığı $3,8 \text{ gr/cm}^3$ 'ten küçüktür. Alüminyum, potasyum, magnezyum, berilyum ve lityum hafif metaller sınıfındadır. Bu grup içerisinde en önemlileri magnezyum ve alüminyumdur. Alüminyum alaşımları, imalatının kolay olmasının yanında, hafif olması yüksek elektrik ve ısı iletkenliği, yüksek korozyon direnci ve diğer metaller ile yüksek çekme mukavemetine sahip alaşımlar oluşturabilmesi ile daha da önem kazanmaktadır. Manyetik özelliği olmayan alüminyum, ısı ve ışığı çok iyi yansıtmaktadır [67]. Alüminyum alaşımlarının fiziksel özellikleri Çizelge 3.3'te görülmektedir.

Alüminyum alaşımlarından bazıları yumuşak çelik ile kıyaslanacak kadar sağlam olup sıfır derecenin altında şekil değiştirme özelliğine sahiptir [67]. Alüminyum haddelenebilme, preslenebilme, çekilip, bükülüp uzatılabilme ve rulo haline getirilebilme özelliklerine de sahiptir. Bunların yanı sıra çekiçle dövülerek şekil verilebilir, kızdırılarak işlenebilir veya kalıptan çekilerek çok büyük şekiller halinde elde edilebilirler [68]. Alüminyum ve alaşımlarından olumlu sonuç alabilmek için bu alaşımların özelliklerine hâkim olmak gerekir. Malzemenin üretim yöntemleri ve malzemenin saflığına göre alüminyum ve alaşımlarının gösterdiği mukavemet özellikleri farklılık gösterir. Üretim şekillerine göre alüminyumun mukavemet özellikleri Çizelge 3.4'te verilmiştir [68]. Alüminyum ve alaşımları kompozisyonlarına ve özelliklerine göre farklılık göstermektedirler. Alüminyum alaşımlarının fiziksel özellikleri Çizelge 3.5'te, bazı alüminyum alaşımlarının oda sıcaklığındaki mekanik özellikleri ise Çizelge 3.6'da verilmiştir [69].

Çizelge 3.3. Alüminyumun fiziksel özellikleri [67]

Fiziksel Özellik	Değeri
Atom ağırlığı, r (gr)	26,97
Dökme alüminyumun özgül ağırlığı, ρ (gr/cm ³)	2,65-2,69
Hadde alüminyumun özgül ağırlığı, ρ (gr/cm ³)	2,7
Ergime noktası (°C)	658
Kaynama noktası (°C)	1800
Isı geçirgenlik katsayısı, k (W/mK)	173
Sıcaklık tesiri ile uzama, (mm/m)	
0-50 °C	1,17
100 °C	2,38
200 °C	4,94
400 °C	0,60
500 °C	13,70
Kendini çekme miktarı (dl/l) (%)	1,7-1,8
Katı halden sıvı hale geçerken meydana gelen hacim büyümesi (%)	6,5

Çizelge 3.4. Alüminyumun üretim şekillerine göre mukavemet özellikleri [68]

	Döküm Al.	Hadde Al.	Is. İşl. Tb. Tut. Al.
Çekme muk., σ (kg/mm ²)	9-12	18-28	7-11
Akma muk., σ (kg/mm ²)	3-4	16-24	5-11
Uzama, ϵ (%)	18-25	3-5	30-40
Bükülme, ϵ (%)	40-55	60-85	80-95
Sertlik (Brinell, BSD)	24-32	45-60	80-95

Çizelge 3.5. Alüminyum ve alaşımlarının fiziksel özellikleri (döküm) [69]

Alaşım Grubu	Nominal Kompozisyon %	Yoğunluk g/cm ³	Genleşme Kat. 20-100°C $10^{-6} K^{-1}$	Isıl İletkenlik 100 °C $Wm^{-1}K^{-1}$	Özdirenç $\mu\Omega m$	Elastiklik Modülü MPa.10 ³
Al	Al 99,5	2,7	24	218	3	69
	Al 99	2,7	24	209	3,1	
Al-Cu	Cu 4,5	2,75	22,5	180	3,6	71
	Cu 8	2,83	22,5	138	4,7	
	Cu 12	2,93	22,5	130	4,9	
Al-Mg	Mg 3,75	2,66	22	134	5,1	
	Mg 5	2,65	23	130	5,6	
	Mg 10	2,57	25	88	8,6	71
Al-Si	Si 5	2,67	21	159	4,1	71
	Si 11,5	2,65	20	142	4,6	
Al-Si--Cu	Si 10	2,74	20	100	6,6	71
	Cu 1,5					
	Si 4,5	2,76	21	134	4,9	71
Al-Si-Cu-Mg	Si 17	2,73	18	134	8,6	88
	Cu 4,5					
	Mg 0,5					
Al-Cu-Mg-Ni	Cu 4	2,78	22,5	126	5,2	71
	Mg 1,5					
	Ni 2					
Al-Cu-Fe-Mg	Cu 10	2,88	22	138	4,7	71
	Fe 1,25					
	Mg 0,25					
Al-Si-Cu-Mg-Ni	Si 12	2,71	19	121	5,3	71
	Cu 1					
	Mg 1					
	Ni 2					
	Si 23	2,65	16,5	107		88
	Cu 1					
	Mg 1					
	Ni 1					

Çizelge 3.6. Bazı alüminyum alaşımlarının oda sıcaklığındaki mekanik özellikleri [69]

	Nominal Kompozisyon %		Kondisyon	0,20 % Akma Dayanımı MPa	Çekme Dayanımı MPa	% Uzama a 50 mm	Sertlik HB	Yorulma Dayanımı 500 MHZ MPa
2014	Cu	4,4	Levha T451	290	425	22	108	140
	Mg	0,7	T651	415	485	10	139	125
	Si	0,8	Bar 0	440	490	8		
	Mn	0,75						
2024	Cu	4,5	Levha T3	345	485	18	120	140
	Mg	1,5	T351	325	470	19	120	140
	Mn	0,6						
5083	Mg	4,5	Tube H111	170	310	21	72	
	Mn	0,7	H24	290	370	9	310	
	Cr	0,15		180	315	19	77	
6060	Mg	0,5	Bar T4	90	150	20		
	Si	0,4	T5	130	175	13		
			T6	190	220	13		
6063	Mg	0,5	Dövme F	85	155	30	35	
	Si	0,5	T4	115	180	30	52	
			T6	210	245	20	75	
			Tel H111		115			
			T4	115	180		50	
			T6	195	230		70	
6082	Mg	1	Bar T5	260	300	15	85	
			T651					
	Si	1	0	285	315	11		
	Mn	0,7	Levha T451	150	240	19	68	
			T651	289	315	12	104	
7075			T6	285	315	12	100	
	Zn	5,6	Levha- H11	105	230	17	60	
			Ekstrüde					
	Mg	2,5	- T4	505	270	11	150	
	Cu	1,6	Dövme T73	435	505	13		
	Cr	0,25						

3.4.3. Alüminyum 7000 serisi

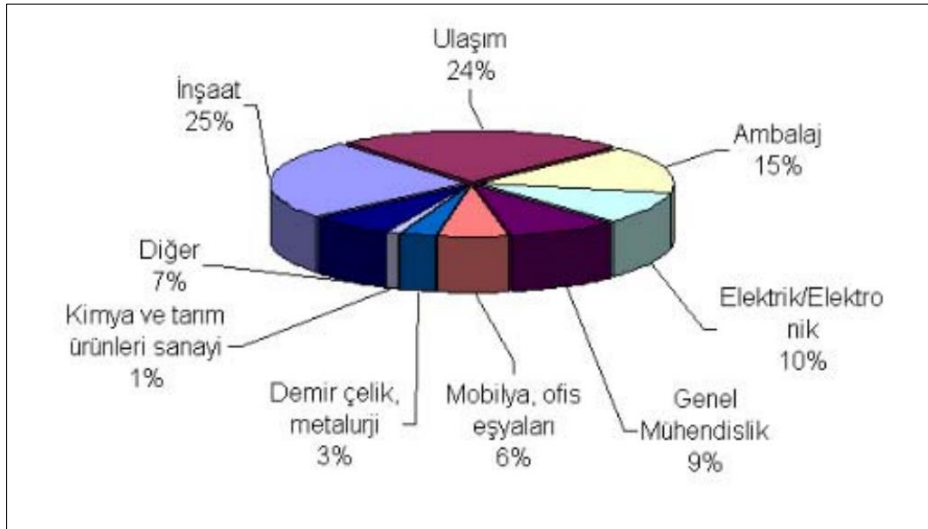
Alaşımlara çok yüksek çekme dayanımı veren çinko, %5 civarlarında ana katkı maddesi olarak kullanılır. Uçak, roket, mühimmat sanayi, kamyon kasaları, vidalı makine parçaları, tavan vinçleri bu alaşımların başlıca kullanım alanlarıdır. Ana alaşım elemanı olan çinko az bir miktar magnezyum ile kullanıldığı takdirde çok yüksek mukavemetli ısıtıl işlem uygulayabilen alaşımlar meydana getirir. Alaşımda bulunan çinko elementi dökülebilirlik özelliğini azaltmakla birlikte çinko katkılı alaşımlar sıcak çatlama ve soğuma çekmesi

meydana getirmektedir. % 8'den yüksek alaşımlar gerilmeli korozyon çatlama göstermesine karşılık, diğer alaşım elementleri ile bulunması halinde dayanımı çok artmaktadır [65,70].

3.4.4. Alüminyum alaşımlarının kullanım alanları

Sektörde çeşitli tüketici istekleri, nüfusun artması, ilerleyen üretim yöntemleri ile doğal enerji kaynaklarının sınırlarına hızla yaklaşılmış, birçoğunda alışılmış üretim yöntem ve hammaddelerde radikal değişiklik yapılmasının önemini artırmıştır. Gün geçtikçe kullanımı artmaya başlayan alüminyum alaşımının yapısal ve estetik uygulamalarda hızla yer aldığı görülmektedir.

Alüminyum alaşımları mukavemet, rijitlik ve şekillendirme sırasında göstermiş olduğu süreksiz akma (serrated flow) gibi özellikleriyle geleneksel malzemelerle kıyaslandığında geleneksel malzemelerle eşdeğer, bazı zamanlarda ise performans olarak daha olumlu sonuçlar sergilediği görülmektedir. Bu özellikleri sayesinde başta savunma ve havacılık sanayisi olmak üzere imalat ve otomotiv endüstrisinde de kullanılmasının artmasına sebep olmaktadır. Yakıt tasarrufuyla maliyetlerin düşürülmesi, ulusal ve global platformlarda taşıt araçlarının emisyon miktarına getirilen düzenlemeler taşımacılık sektöründe alüminyum en iyi alternatif malzeme haline getirmiştir [71]. Şekil 3.14'te alüminyum alaşımlarının kullanım alanları ve oranları verilmiştir.



Şekil 3.14. Alüminyum alaşımlarının kullanım alanları ve oranları [72]

Alüminyumun hafif bir metal olduğu bilinmektedir. Bu özelliğinden dolayı otomotiv sektöründe kullanımı oldukça fazla olmakla birlikte bu miktar gün geçtikçe artmaktadır. Otomobil sektöründe alüminyumun yararlanıldığı yerler; yapısal parçalar, motor parçaları, gövde sacları, radyatörler, uçak ve trenlerin ulaşım sistemlerinde yük taşıma ve yolcu kompartımanları, gemi gövdesinin ve pervanelerdir [68].

Alüminyum pillerin ilerleyen zamanlarda daha geniş bir uygulama alanı oluşturacağı düşünülmektedir. Alüminyum-sülfür piller 250 Wh/kg verimliliğe kadar çıkmaktadır. Başka bir örnek olarak alüminyum hava-yakıt pilleri verilebilir [72].

Alüminyum, inşaat sektöründe uzun süredir kullanılmaktadır. Korozyon direnci, yüksek mukavemet özelliği sayesinde teknoloji ve üretim metotlarında çalışmalar yapılmış ve bu da alışımin ve üretim metotlarının gelişimiyle sonuçlanmıştır [71].

Alüminyum alışıminı gıda sektöründe de kullanılmaktadır. Korozyona dayanımlı alüminyum, düşük asitliğe sahip sıvıların taşınması için kullanılan tanklar ve iletildiği borularda kullanılmaktadır. Aynı zamanda alüminyum alışıminları yakıt tankları, rafinerilerde tankların ve boruların ısı yalıtım elemanlarında da yüksek miktarda yer almaktadır. Homojen bir yapıya sahip olan alüminyum; ince folyo (alüminyum kâğıt) formunda imal edilebilmesi, kolay şekil alabilmesi ve hava geçirmemesi gibi özelliklerinden dolayı ambalaj malzemesi olarak tercih edilir. Hava ve morötesi ışınları iletmeyen alüminyum folyo, gıdaların doğal renklerinin ve tatlarının bozulmasını önler [72].

3.4.5. Alüminyumun işlenebilirliği

İşlenebilirlik, tek boyutlu bir özellik olmadığı gibi karmaşık boyutların oluşturduğu bir sistem özelliği olup talaşlı imalatta oldukça kullanılmaktadır [70]. İşlenecek malzeme ve kullanılan kesici takımın, kullanılan tezgâh ve talaş kaldırma esnasındaki işleme ortamı ile yaptığı talaşlı üretim, seçilen kesme şartlarıyla birlikte yüzey pürüzlülüğünü ve maliyeti referans alarak işlenebilirliği belirler [45].

Talaşlı işleme esnasında işlenebilirliği iyi olan bir malzemenin minimum sürede yüksek talaş hacmi ile işlenebilmesi ve oluşan yüzeyin en iyi yüzey kalitesine ulaşması istenir. Aynı zamanda talaş kaldırma işlemi sırasında kullanılan kesici takımın uzun ömürlü

olması istendiğinden az aşınması gerekir. İyi işlenebilirlik en az maliyetle doğru üretimin ekonomik olmasını ön görür ve optimum verim alınması beklenir [45].

Al ve alaşımlarının talaşlı işlenmesi esnasında takım yüzeyinde yan kenar aşınması oluşur. Tornalama, frezeleme, delme işlemlerinde yüksek hızlar tercih edilerek uzun takım ömrü ve daha iyi yüzey kalitesine ulaşılması hedeflenir [45]. Genel itibarıyla Al alaşımlarının işlenmesinde kesme kuvvetlerinin düşük olduğu görülmektedir. Kesme hızının artmasıyla kesme kuvvetlerinde düşüş olmaktadır. Ancak saf alüminyumun düşük kesme hızlarında işlenmesi yüksek kesme kuvvetlerine sebep olmaktadır [73,74]. Takım talaş ara yüzeyi temas alanı çok büyük olduğunda, yüksek ilerleme kuvveti (F_f), düşük kayma düzlemi açısı ve çok kalın talaşların oluşmasına yol açmaktadır. Bu sebeple, yüksek kesme kuvveti (F_c) görülmektedir. Ayrıca güç sarfiyatında da artış olmaktadır. Saf alüminyum işleme esnasında sıvanma özelliği göstermez. Fakat çok yüksek kesme hızlarında işlenmemesi kötü yüzey kalitesine sebep olur. Birçok alüminyum alaşımı birden fazla faz ihtiva eder. Bu sebeple düşük kesme hızlarında kesici takımın kesme kenarında sıvanma meydana gelir. Talaş yapışması veya sıvanmasının olduğu yerlerde kesme kuvvetlerinin düşük olmasıyla birlikte talaş ince çıkar fakat yüzey pürüzlülüğünün kötü olma ihtimali yüksektir. Elmas takımlar kullanılarak bu durum azaltılabilir veya yok edilebilir. Yüzey merkezli kübik yapıya sahip olan alüminyum kırılmadan önce yüksek plastik deformasyona uğrar. Alüminyum ve alaşımları kesildiklerinde uzun, oldukça kalın, dayanıklı ve kolay parçalanmayan talaşlar meydana gelir. İşlenme sırasında talaşın kontrol edilebilir olması alüminyumun işlenebilirlik problemleri arasındadır [45].

Alüminyumun alaşımının işlenebilirliğine etki eden faktörler malzemenin metalürjik yapısı ve işleme şartları olarak iki grup altında sınıflandırılabilir. Alüminyum alaşımlarının talaş kaldırmasında kullanılan takımın geometrisi önem taşımaktadır. Pozitif talaş açısı bu alaşımların işlenmesinde kullanılırken malzemenin de sertliğine göre pozitif talaş açısının büyüklüğü 0-30° arasında değişmektedir [75].

Standart alüminyum alaşımlarında talaşların daha hızlı bir şekilde parçalanması, içerdikleri kurşun, kurşun-bizmut ya da kalay-antimuan'dır. Bu katkı malzemeleri kesici takım ömrünü iyileştirmekten ziyade talaş oluşumunu iyileştirmeyi hedefler. Bu metaller düşük ergime noktasına sahiptir. Talaş oluşturmak için kesme kenarı boyunca Alüminyum talaşının sürekliliğini azaltıcı rol oynarlar [63].

4. MATERYAL METOD

4.1. Deney Malzemesi

Alüminyum 7075 alaşımları BUE (built up edge) oluşumuna yatkın bir malzeme olduğundan dolayı talaş kaldırma esnasında kesici takımın üzerine yapışarak kesici takımı ve iş malzemesini olumsuz olarak etkilemektedir [76]. Bu alaşımın işlenmesi son yıllarda daha da önem kazanmakla birlikte işleme esnasında karşılaşılan sorunlar ve çözümleri hakkında birçok araştırma söz konusu olmuştur. Alüminyum 7075 alaşımı sünek özelliğinin yanı sıra hafif ve yüksek mukavemetli olmasından ve havacılık, otomotiv gibi birçok sektörde gün geçtikçe kullanılmasının artmasından dolayı bu çalışmada tercih edilmiştir.

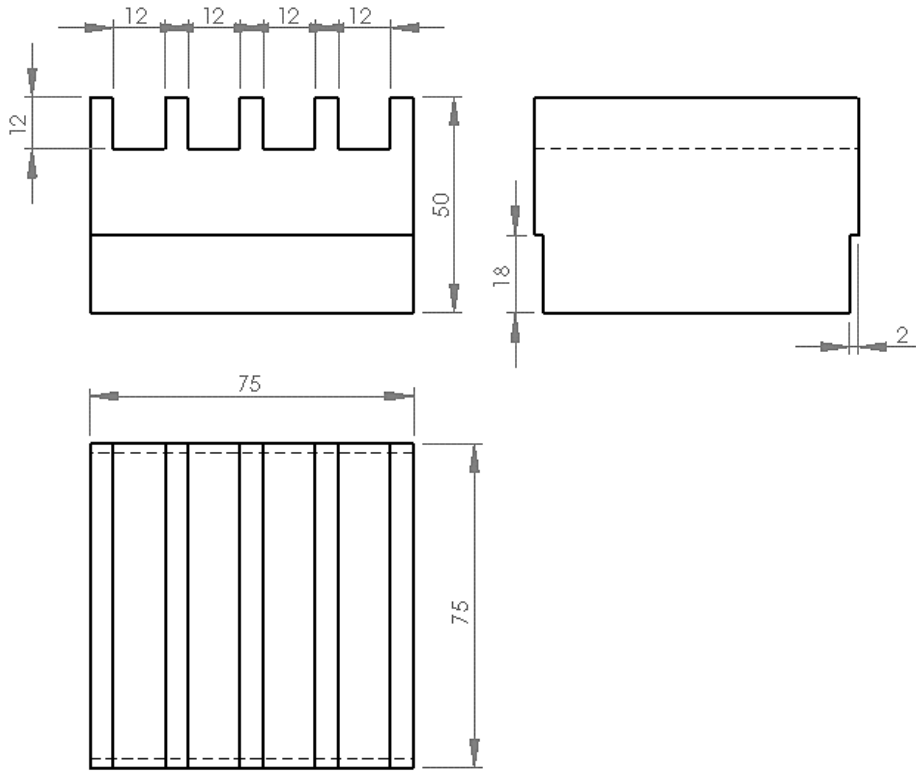
Bu çalışma kapsamında 75mmx75mmx50mm ölçülerinde 7 adet Alüminyum 7075 alaşımı malzeme kullanılmıştır. Malzemeler Karcan Kesici Takımlar firması tarafından temin edilmiştir. Deneylerde kullanılan Alüminyum 7075 alaşımının kimyasal kompozisyonu ve mekanik özellikleri Çizelge 4.1 ve Çizelge 4.2’de verilmiştir. İş parçasının temsili resmi Şekil 4.1’de verilmiştir.

Çizelge 4.1. Alüminyum 7075 malzemesinin kimyasal kompozisyonu

Element	Si	Fe	Cu	Mn	Mg	Cr	Zn	Ti	Al
%Ağırlık	0,07	0,21	1,6	0,2	2,6	0,2	5,8	0,04	Kalan

Çizelge 4.2. Alüminyum 7075 malzemesinin mekanik özellikleri

Çekme Dayanımı (MPa)	Akma Mukavemeti (MPa)	Uzama (%)
457-565	344-354	9,5



Şekil 4.1. İş parçasının temsili resmi

İş parçasının CNC tezgâhında işlenebilmesi için HyperMILL programında takım yolu oluşturulmuştur. Alüminyum 7075 alaşımı malzemelere parmak frezelerle kanal açma işlemi gerçekleştirilmiştir. Deneylerde her bir kanal açma işlemi “LX” olarak adlandırılmıştır. L1’de parametrelerin ve takımın güvenilirliğinin teyit edilmesi için bir adet deney malzemesi üzerinde aynı takım ve aynı parametrelerle dört adet kanal açma işlemi gerçekleştirilmiştir. L1’de kullanılan kesici takım standart parmak freze olup kesme hızı 280 m/dk, diş başına ilerleme ise 0,085 mm/diş’dir. Diğer deneyler için de farklı parametrelerle her bir iş parçası üzerine 4 sefer kanal açılmıştır.

Yapılan deneylerde alüminyum7075 malzemesinin işlenmesinde her bir kesici için kesme parametrelerine bağlı olarak deney tasarımı oluşturulmuştur. Çalışma esnasında kesme parametreleri; üç farklı kesme hızı (280 m/dk, 300 m/dk, 320 m/dk) ve iki farklı diş başına ilerleme miktarı (0,085 mm/diş, 0,11 mm/diş) olarak belirlenmiştir. Her bir takımla 6 tekrarlı talaş kaldırma işlemi yapılmıştır. Bütün deneyler herhangi bir takım problemi yaşanmadan tamamlanmıştır. Deneyler kuru işleme şartlarında gerçekleştirilmiştir. Kullanılan deney tasarımı Çizelge 4.3’te verilmiştir.

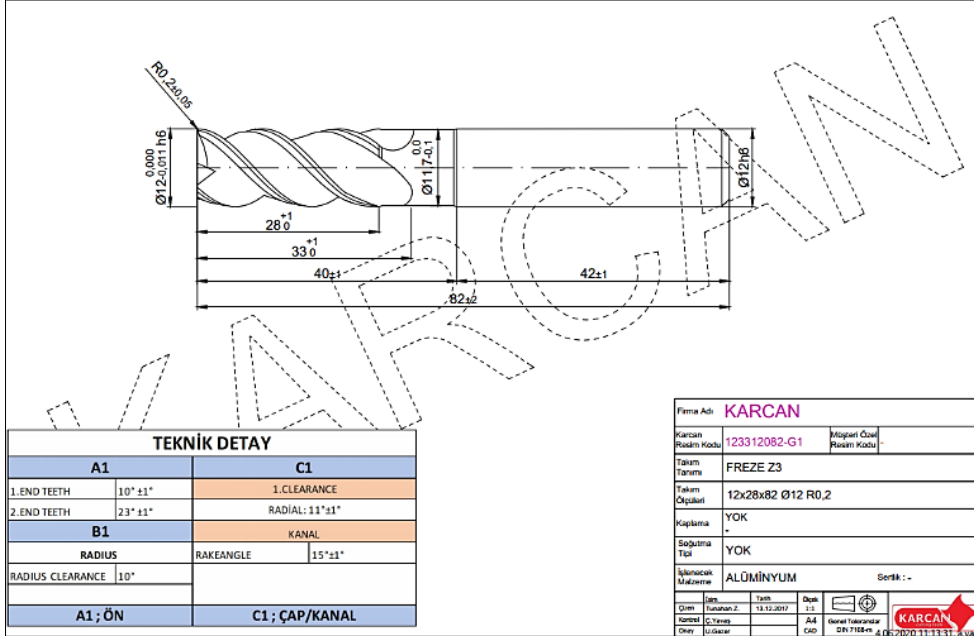
Çizelge 4.3. Deney tasarımı

Deney	Takım Tipi	Kesme Hızı (V) (m/dk)	İlerleme Miktarı (fz) (mm/z)	İlerleme Miktarı (fs) (mm/dk)	Devir Sayısı (n) (dev/dk)
L1	Standart	280	0,085	1900	7400
L2	Standart	300	0,085	2030	8000
L3	Standart	320	0,085	2170	8500
L4	Standart	280	0,11	2450	7400
L5	Standart	300	0,11	2600	8000
L6	Standart	320	0,11	2800	8500
L7	OTEC1	280	0,085	1900	7400
L8	OTEC1	300	0,085	2030	8000
L9	OTEC1	320	0,085	2170	8500
L10	OTEC1	280	0,11	2450	7400
L11	OTEC1	300	0,11	2600	8000
L12	OTEC1	320	0,11	2800	8500
L13	OTEC2	280	0,085	1900	7400
L14	OTEC2	300	0,085	2030	8000
L15	OTEC2	320	0,085	2170	8500
L16	OTEC2	280	0,11	2450	7400
L17	OTEC2	300	0,11	2600	8000
L18	OTEC2	320	0,11	2800	8500
L19	Wavecut	280	0,085	1900	7400
L20	Wavecut	300	0,085	2030	8000
L21	Wavecut	320	0,085	2170	8500
L22	Wavecut	280	0,11	2450	7400
L23	Wavecut	300	0,11	2600	8000
L24	Wavecut	320	0,11	2800	8500

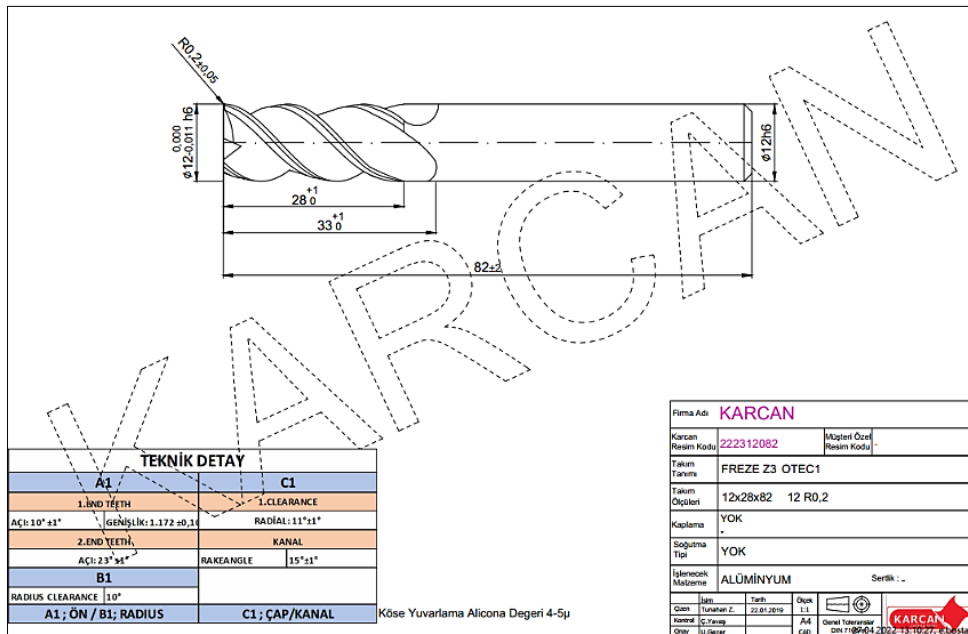
4.2. Kesici Takımlar

Deneylerde kullanılan kesici takımlar; Karcan Kesici Takım firması tarafından üretilmiştir. On iki milimetre çapında; bir adet standart formda parmak freze, iki adet farklı köşe yuvarlatma değerine (4-5 μm ve 7-9 μm) sahip parmak freze (OTEC1, OTEC2) ve helisel dalga formu (wave cut) parmak freze olmak üzere toplam dört farklı tipte kesici takım kullanılmıştır. Standart parmak frezenin teknik resmi Şekil 4.2.'de, OTEC1'in teknik resmi Şekil 4.3.'de OTEC2'nin teknik resmi Şekil 4.4.'de, helisel dalga formu kesici takımın teknik resmi Şekil 4.5.'de verilmiştir. Köşe yuvarlatma işlemleri "Drag finish" yöntemi ile firmada bulunan polisaj, polisaj-ayna parlatma, çapak alma ve köşe yuvarlama gibi işlemlerin yapıldığı Pardus İki İstasyonlu Drag Finishing makinesinde gerçekleştirilmiştir. Makinenin teknik özellikleri Çizelge 4.4'te verilmiştir. OTEC1 ve OTEC2 kesici takımlara yapılan köşe yuvarlatma değerleri ve kesici takım aşınmaları firmada bulunan Alicona InfinitiveFocus G5 ölçüm cihazı ile ölçülmüştür. Bu ölçüm cihazı 2,5 μm 'den 0,1 mm'ye kadar kesici ağız yuvarlama ölçümünü gerçekleştirebilmektedir. Bu cihazın teknik

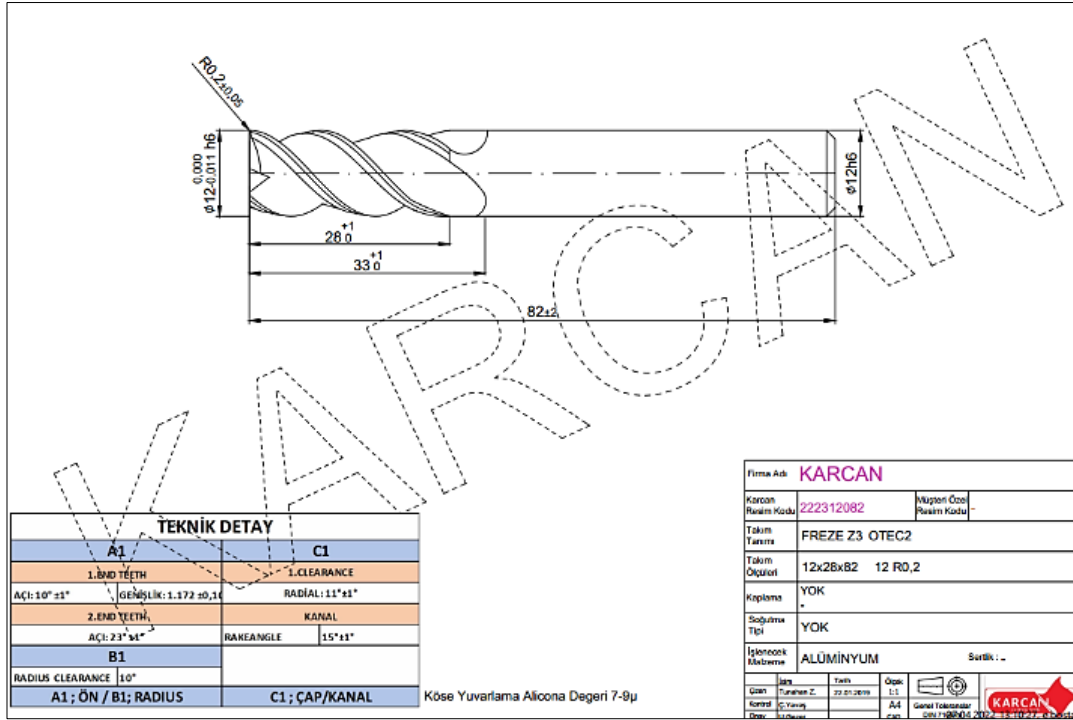
özellikleri Çizelge 4.5’te verilmiştir. Kesici takım malzemesi WC-Co Grade CTS12D olarak seçilmiştir.



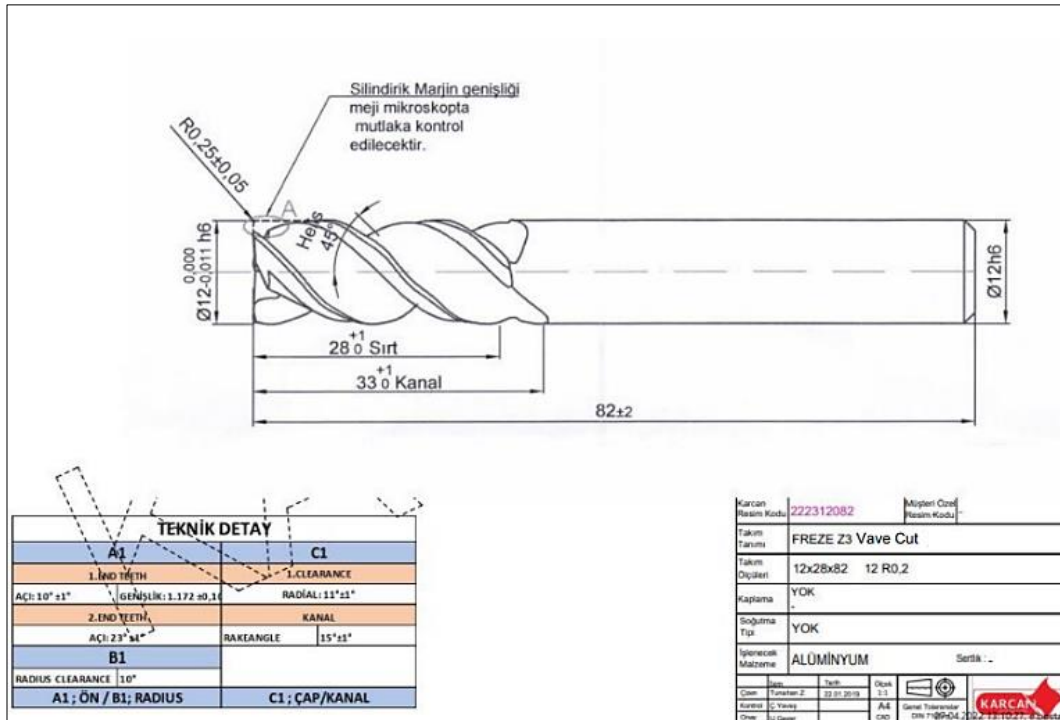
Şekil 4.2. Standart parmak frezenin teknik resmi



Şekil 4.3. OTEC1 kesici takımın teknik resmi (4-5 µm köşe yuvarlaması)



Şekil 4.4. OTEC2 kesici takımın teknik resmi (7-9 µm köşe yuvarlaması)



Şekil 4.5. Helisel dalga formu kesici takımın teknik resmi

Çizelge 4.4. Pardus iki istasyonlu drag finishing makinesinin teknik özellikleri

	Makine Adı	Pardus İki İstasyonlu Drag & Stream Machine
	Kontrol Ünitesi	Siemens PLC
	Max. parça uzunluğu	400 mm
	Max. takım uzunluğu	42 mm
	Enerji sarfıyatı	5 kW
	Takım	6 adet döner kafa ile bunlara bağlı 30 adet takım bağlantı noktası Açılı kafa ile opsiyonu ile 4 adet 20 derece açılı veya dik işleme yapabilen 20 adet takım bağlantı noktası

Çizelge 4.5. Yüzey pürüzlülüğü ve yüzey dokusu ölçüm cihazının teknik özellikleri

	Model	Alicona InfinitiveFocus G5
	Ölçme prensibi	Temassız, optik, 3 boyutlu, odak değişimi dikey odak problama teknolojisine dayalı
	Konum hacmi (X x Y x Z)	200 mm x 200 mm x 100 mm =4000000 mm ³
	Çalışma mesafesi	8.8 mm, 30 mm, 37 mm, 17.5 mm, 19 mm, 11 mm, 4.5 mm
	Yanal Ölçüm (X , Y)	5.63 mm, 3.97 mm, 1.62 mm, 0.7 mm, 0.81 mm, 0.32 mm, 0.16 mm
	(X x Y)	31.7 mm ² , 15.76 mm ² , 2.62 mm ² , 0.49 mm ² , 0.66 mm ² , 0.10 mm ² , 0.03 mm ²
	Min. Ölçülebilir pürüzlülük (Ra)	7 µm, 1.35 µm, 0.75 µm, 0.3 µm, 0.24 µm, 0.15 µm, 0.06 µm, 0.03 µm
	Min. Ölçülebilir radyus	20 µm, 12 µm, 5 µm, 3 µm, 2 µm, 1 µm

4.3. Takım Tezgâhı

Deneylerde Karcan Kesici Takım firmasında mevcut olan MIKRON VCP 800 CNC freze tezgâhı kullanılmıştır. CNC tezgâhı; 1100 kg'a kadar iş parçası kullanılabilen üç eksenli bir

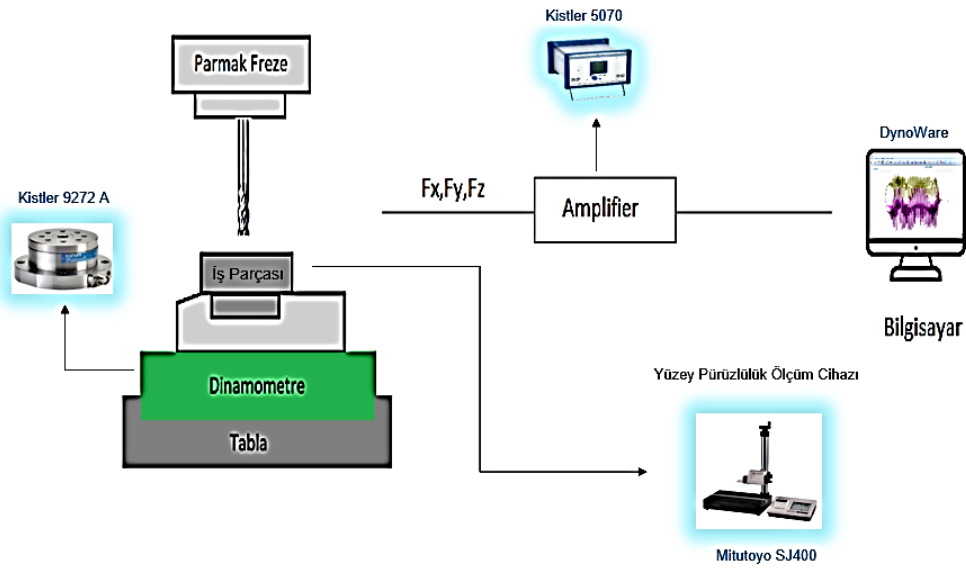
dik işleme merkezidir. Kullanılan takım tezgâhının dik işleme merkezinin özellikleri Çizelge 4.6’da verilmiştir.

Çizelge 4.6. Mikron vcp800 cnc dik işleme merkezi teknik özellikleri

	Tezgâh adı	MICRON VCP800
	Eksen sayısı	3
	X Eksen	800 mm
	Y Eksen	450 mm
	Z Eksen	450 mm
	Masa uzunluğu	1050 mm
	Masa genişliği	60 mm
	İlerleme hızı	1500 mm/dk
	Seri hareket	22 mm/dk
	Maksimum iş mili hızı	20000 dev/dk
	Motor gücü	40 kW
	Takım değiştirici	TC30
	Takım değiştirme süresi	5 s
	Tabla yükü	1100 kg

4.4. Kesme Kuvvetleri ve Momentin Ölçülmesi

Deneyler esnasında her bir iş parçası tezgâh tablasına mengene aracılığıyla bağlanmıştır. MIKRON VCP 800 dik işleme merkezinde yapılan deneylerde kanal açma işlemi sırasında Alüminyum 7075 malzemesine gelen üç kesme kuvveti bileşenin (F_x , F_y , F_z) ve burulma momentinin (M_z) ölçülebilmesi için Kistler 9272 A tipi dinamometre kullanılmıştır. Dinamometre, Gazi Üniversitesi, İmalat Mühendisliği Bölümü’nden temin edilmiştir. Kistler 9272 A tipi dinamometre tezgâh tablasına bağlanmış ve işlenecek malzemeler bunun üzerine sabitlenerek ölçüm yapılmıştır. Deney düzeneği Şekil 4.6’da verilmiştir. Kullanılan dinamometre ve teknik özellikleri Çizelge 4.7’de verilmiştir. Kistler Dinamometreden gelen sinyallerin aktarılması, kesme kuvvetleri ve momentin deneysel analizinin yapılabilmesi için Kistler 5070 marka amplifier kullanılmıştır. Kullanılan amplifier ve teknik özellikleri Çizelge 4.8’de verilmiştir. Deneylerde elde edilen veriler bilgisayar ortamına aktarılmıştır. Kuvvetlerin ve momentin analizi için Kistler firmasının DynoWare yazılımı kullanılmıştır (Resim 4.1). Elde edilen kesme kuvvetleriyle bileşke kuvvet değeri $F_R = \sqrt{((F_x)^2 + (F_y)^2 + (F_z)^2)}$ (3.1) formülü ile hesaplanmıştır.



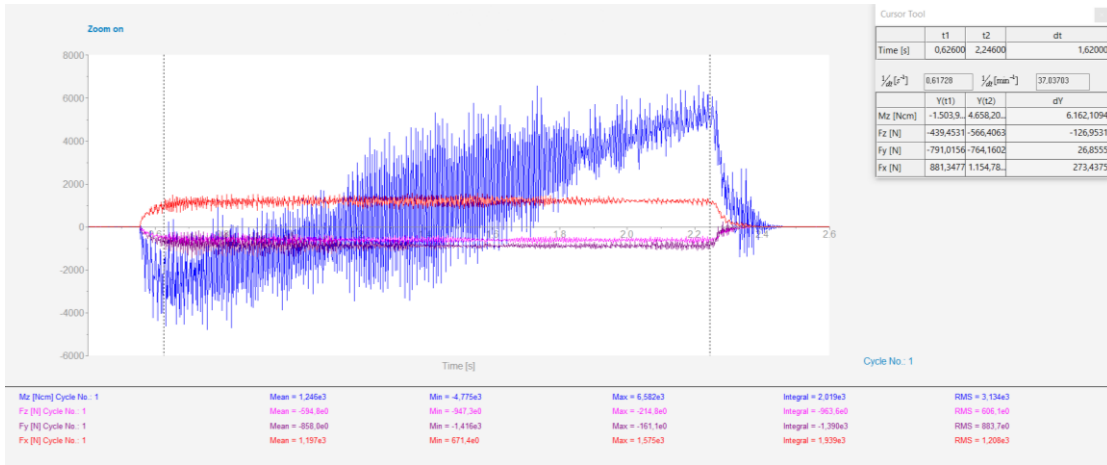
Şekil 4.6. Deney düzeneği

Çizelge 4.7. Kistler 9272 dinamometre teknik özellikler

Kistler 9272 A		
Kuvvet aralığı	Fx, Fy	±5 kN
	Fz	-5...20 kN
	Mz	±200 kN
Tepki verme (N)		<0,01
Hassasiyet	Fx, Fy	≈ -7,8 pC/N
	Fz	≈ -3,5 pC/N
	Mz	≈ -160 pC/N
Doğal frekans	Fn (x,y)	≈ 3,1 kHz
	Fn (z)	≈ 6,3 kHz
	Fn (Mz)	≈ 4,2 kHz
Doğrusallık		%1 FSO
Çalışma sıcaklığı		0...70 °C
Kapasitans (pF)		220
Topraklama sınıfı (Ω)		>180
Koruma sınıfı		IP67
Çap		100 mm
Yükseklik		70 mm
Ağırlık		7,3 kg

Çizelge 4.8. Kistler 5070 amplifier teknik özellikler

	Kistler Type 5070 Amplifier	
	Kanal Sayısı	8
	Bağlantı	BNC neg.
	Ölçme aralığı (pC)	$\pm 200 \dots 200000$ pC
	Frekans aralığı (kHz)	$\approx 0 \dots > 45$
	Çıkış sinyali (V)	± 10 V
	Güç (V)	100..240 V
	Arayüz	RS-232C and IEEE-488



Resim 4.1. DynoWare yazılımında kuvvet ve moment ölçümü

4.5. Yüzey Pürüzlülüğünün Ölçülmesi

Numunelere kanal açma işlemi yapıldıktan sonra yüzey pürüzlülüğünün ölçülmesi için Karcan Kesici Takımlar firmasında bulunan Mitutoyo SJ 400 marka yüzey pürüzlülük ölçüm cihazı kullanılmıştır. Kullanılan ölçüm cihazının teknik özellikleri Çizelge 4.9’da verilmiştir. Deney parçalarına kanal açma işlemi gerçekleştirilen yüzeylerdeki ortalama yüzey pürüzlülük (Ra) değerlerine ulaşılmıştır.

Çizelge 4.9. Yüzey pürüzlülük cihazının teknik özellikleri

	Model	Mitutoyo SJ 400
	Ölçme prensibi	Skidless/Skidded measurement (Kaymaz/Kaymalı ölçüm)
	Ölme aralığı	Z-Ekseni 800µm, 80 µm, 8 µm (opsiyonel kalemle 2400 µm'ye kadar) X-Ekseni SJ-401: 25 mm SJ-402: 50 mm
	Ölçüm hızı (mm/s)	0.05, 0.1, 0.5, 1.0 mm/s
	Dönüş hızı (mm/s)	0.5, 1.0, 2.0 mm/s
	Eğim ayar aralığı	±1.5°
	Yükseklik ayar miktarı	10 mm
	Cut off	0,08-0,25-0,8-2,5-8 mm
	Örnekleme uzunluğu sayısı	X1, X3, X5, XL* (*=isteğe bağlı uzunluk)

4.6. Varyans Analizi (ANOVA)

Deneylerde, etkili parametrelerin ve etki yönlerinin belirlenmesi için varyans analizi (Analysis of variance: ANOVA) uygulanmıştır. Varyans analizi; deneylerden elde edilen toplam değişimin, değişime sebep olduğu varsayılan faktörlere göre ayrıştırılarak toplam varyansın içindeki paylarının belirlenmesini esas alan bir yöntemdir. Varyans analizi, F-testi olarak da bilinir ve faktörler veya seviyelerinin birbirinden farksız olduğunu kabul eden belirli bir hipotezin kontrolünde kullanılır. Hesaplanan test istatistiği değerinin tablo değerinden küçük olması faktör veya seviyelerinin etkilerinin anlamlı olmadığı, büyük olması ise, faktör veya seviyelerinin etkilerinin anlamlı olduğunu ifade eder. Bu hüküm analiz için belirlenen önem düzeyine göre verilir [77]. Yüzde etki oranı her bir faktörün veya faktörler etkileşiminin deney sonuçlarının toplam varyasyonuna ne oranda etkilediğini belirtmektedir. Etki oranı hatalara bağlı olarak deneylerin doğruluğunun yüzdelik olarak belirlenmesini sağlar [78]. Ortalama yüzey pürüzlülüğü, bileşke kuvvet ve burulma momenti değerleri; ilerleme miktarı, kesme hızı ve kesici takım bilgisi gibi girdi parametreleriyle minitab yazılımında analiz edilmiştir. Bu yazılım yardımı ile R_a , F_R ve M_Z için varyans analiz tablosu ve buna bağlı olarak tek yönlü ve çift yönlü parametre etkileşimlerinin yanıt tablosu ayrıca ana etki grafikleri oluşturulmuştur. Ana etki grafiklerinde ortalama değerlere

ait standart hatalar belirtilmiştir. Çizelge 4.10’da deney sonuçlarının istatistiksel analizinde kullanılan faktörler ve seviyeler verilmiştir.

Çizelge 4.10. Deney faktörleri ve seviyeler

	Seviyeler			
Parametreler	1	2	3	4
Takım	Standart	OTEC1	OTEC2	Wavecut
Kesme Hızı [m/dk]	280	300	320	-
İlerleme Miktarı [mm/diş]	0,085	0,11	-	-

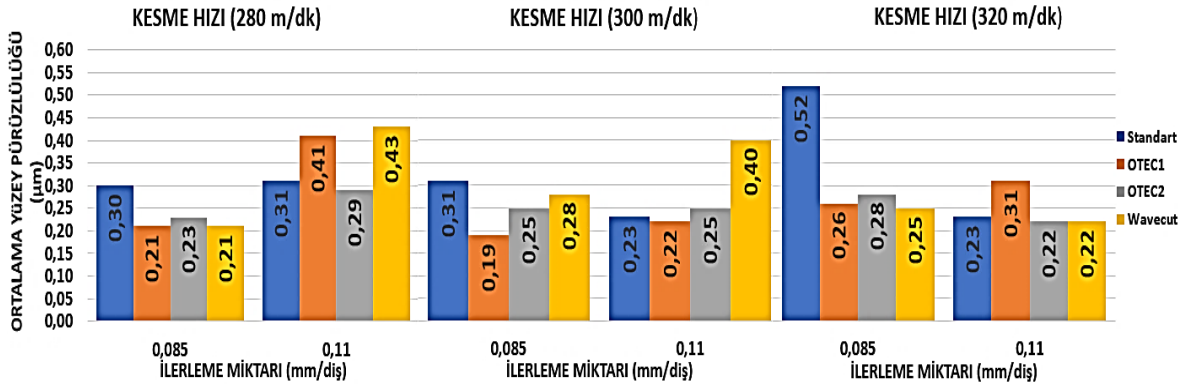
5. BULGULAR VE TARTIŞMA

5.1. Yüzey Kalitesi

Deney sonucunda kesme parametreleri ve kullanılan takımlara göre ölçülen ortalama yüzey pürüzlülük değerleri (Ra) Çizelge 5.1’de verilmiştir. Farklı kenar yuvarlatma değerlerine sahip kesici takımlar ile kanal açma işleminden sonra bakılan ortalama yüzey pürüzlülük değerlerinin, kesme hızının ilerleme miktarına bağlı olarak değişimine bakılmıştır (Şekil 5.1).

Çizelge 5.1. Kesme parametrelerine göre yüzey pürüzlülük değerleri

Deney	Takım	İlerleme Miktarı (fz) (mm/diş)	Kesme Hızı (V) (m/dk)	Ortalama Yüzey Pürüzlülüğü (Ra) (μ m)
L1	Standart	0,085	280	0,30
L2	Standart	0,085	300	0,31
L3	Standart	0,085	320	0,52
L4	Standart	0,11	280	0,31
L5	Standart	0,11	300	0,23
L6	Standart	0,11	320	0,23
L7	OTEC1	0,085	280	0,21
L8	OTEC1	0,085	300	0,19
L9	OTEC1	0,085	320	0,26
L10	OTEC1	0,11	280	0,41
L11	OTEC1	0,11	300	0,22
L12	OTEC1	0,11	320	0,31
L13	OTEC2	0,085	280	0,23
L14	OTEC2	0,085	300	0,25
L15	OTEC2	0,085	320	0,28
L16	OTEC2	0,11	280	0,29
L17	OTEC2	0,11	300	0,25
L18	OTEC2	0,11	320	0,22
L19	Wavecut	0,085	280	0,21
L20	Wavecut	0,085	300	0,28
L21	Wavecut	0,085	320	0,25
L22	Wavecut	0,11	280	0,43
L23	Wavecut	0,11	300	0,40
L24	Wavecut	0,11	320	0,22



Şekil 5.1. Yüzey pürüzlülüğünün, kesme hızı ve ilerleme miktarına bağlı değişimi

Şekil 5.1'e göre sabit kesme hızlarında ilerleme miktarının artışına göre her takım için ortalama yüzey pürüzlülüğündeki değişim incelendiğinde;

- 280 m/dk kesme hızında ilerleme miktarı arttıkça ortalama yüzey pürüzlülüğünde; standart takımda %3,33 artmış, OTEC1 kesici takımda %95,23 artmış, OTEC2 kesici takımda %26,08 artmış ve helisel dalga formlu kesici takımda ise %104,76 artmıştır.
- 300 m/dk kesme hızı için ilerleme miktarı arttıkça; standart takımda %25,8 azalmış, OTEC1 kesici takımda %15,78 artmıştır. Ancak, OTEC2 kesici takımda bir değişim söz konusu olmamaktadır. Helisel dalga formlu kesici takımda ise %42,85 artmıştır.
- 320 m/dk kesme hızı için ilerleme miktarı arttıkça; standart takımda %55,76 azalmış, OTEC1 kesici takımda %19,23 artmış, %21,42 azalmış, helisel dalga formlu kesici takımda ise %12 azalmıştır.

Sabit ilerleme miktarında kesme hızı arttıkça her takım için ortalama yüzey pürüzlülüğündeki değişim incelendiğinde;

- İlerleme miktarı 0,085 mm/diş iken kesme hızı 280 m/dk'dan 300 m/dk'ya çıktığında ortalama yüzey pürüzlülüğünde; standart takımda %3,33'lük artış, OTEC1'de %9,52 azalma, OTEC2'de %8,69 artış, helisel dalga formlu kesici takımda ise %33,3 artış,
- İlerleme miktarı 0,085 mm/diş iken kesme hızı 320m/dk'ya çıktığında ise standart takımda %73,33 artış, OTEC1'de %23,8 artış, OTEC2'de %21,73 artış, helisel dalga formlu kesici takımda ise %19,04 artış,
- İlerleme miktarı 0,11 mm/diş iken kesme hızı 280 m/dk'dan 300 m/dk'ya çıktığında ortalama yüzey pürüzlülüğünde standart takımda %25,8 azalma, OTEC1'de %46,34

azalma, OTEC2’de %13,79 azalma, helisel dalga formlu kesici takımında ise %6,97 azalma,

- İlerleme miktarı 0,11 mm/diş iken kesme hızı 320 m/dk’ya çıktığında ortalama yüzey pürüzlülüğü; standart takımında %23,30 azalma, OTEC1’de %24,39 azalma, OTEC2’de 24,13 azalma, helisel dalga formlu kesici takımında ise %48,83 azalma görülmektedir.

Sabit kesme hızı ve sabit ilerleme miktarında takımlardaki ortalama yüzey pürüzlülüğü değişimi standart takım ile kıyaslandığında;

- 280 m/dk kesme hızı, 0,085 mm/diş ilerleme miktarı için ortalama yüzey pürüzlülüğündeki değişim standart takıma göre; OTEC1’de %29,99 azalmış, OTEC2’de %23,33 azalmış, helisel dalga formlu kesici takımında ise %29,99 azalmıştır.
- 280 m/dk kesme hızı, 0,11 mm/diş ilerleme miktarı için ortalama yüzey pürüzlülüğündeki değişim standart takıma göre; OTEC1’de %32,25 artmış, OTEC2’de %6,45 azalmış, helisel dalga formlu kesici takımında ise %38,7 artmıştır.
- 300 m/dk kesme hızı, 0,085 mm/diş ilerleme miktarı için ortalama yüzey pürüzlülüğündeki değişim standart takıma göre; OTEC1’de %38,7 azalmış, OTEC2’de %19,35 azalmış, helisel dalga formlu kesici takımında ise %9,67 azalmıştır.
- 300 m/dk kesme hızı, 0,11 mm/diş ilerleme miktarı için ortalama yüzey pürüzlülüğündeki değişim standart takıma göre; OTEC1’de %4,34 azalmış, OTEC2’de %8,69 artmış, helisel dalga formlu kesici takımında ise %73,91 artmıştır.
- 320 m/dk kesme hızı, 0,085 mm/diş ilerleme miktarı için ortalama yüzey pürüzlülüğündeki değişim standart takıma göre; OTEC1’de %49,99 azalmış, OTEC2’de %46,15 azalmış, helisel dalga formlu kesici takımında ise %51,32 azalmıştır.
- 320 m/dk kesme hızı, 0,11 mm/diş ilerleme miktarı için ortalama yüzey pürüzlülüğündeki değişim standart takıma göre; OTEC1’de %34,78 artmış, OTEC2’de %4,34 azalmış, helisel dalga formlu kesici takımında ise %4,34 azalmıştır.

Standart takım dışındaki diğer üç takım için sabit kesme hızı ve sabit ilerlemede ortalama yüzey pürüzlülüğündeki değişimler birbirleri ile kıyaslanacak olursa;

- 280 m/dk kesme hızı ve 0,085 mm/diş ilerlemede ortalama yüzey pürüzlülüğü değeri için OTEC1 kesici takıma göre OTEC2 kesici takımında %9,52’lik artmış, helisel dalga

formlu kesici takımda ise ortalama yüzey pürüzlülüğü değeri sabit kalmıştır. Helisel dalga formlu kesici takım ile elde edilen ortalama yüzey pürüzlülüğü değeri, OTEC2 kesici takıma göre %8,69 azalmıştır.

- 280 m/dk kesme hızı ve 0,11 mm/diş ilerleme miktarında ortalama yüzey pürüzlülüğü değeri için OTEC1 kesici takıma göre; OTEC2 kesici takımda %29,26 azalmış, helisel dalga formlu kesici takımda ise %4,87 artmıştır. Helisel dalga formlu kesici takım ile elde edilen ortalama yüzey pürüzlülüğü değeri, OTEC2 kesici takıma göre %48,27 artmıştır.
- 300 m/dk kesme hızı ve 0,085 mm/diş ilerleme miktarı için ortalama yüzey pürüzlülüğü değerinde OTEC1 kesici takıma göre; OTEC2 kesici takımda %31,57 artmış, helisel dalga formlu kesici takımda ise %47,36 artmıştır. Helisel dalga formlu kesici takım ile elde edilen ortalama yüzey pürüzlülüğü değeri, OTEC2 kesici takıma göre %12 artmıştır.
- 300 m/dk kesme hızı ve 0,11 mm/diş ilerleme miktarı için ortalama yüzey pürüzlülüğü değerinde OTEC1 kesici takıma göre; OTEC2 kesici takımda %13,63 artmış, helisel dalga formlu kesici takımda ise %81,81 artmıştır. Helisel dalga formlu kesici takım ile elde edilen ortalama yüzey pürüzlülüğü değeri, OTEC2 kesici takıma göre %60 artmıştır.
- 320 m/dk kesme hızı ve 0,085 mm/diş ilerleme miktarında ortalama yüzey pürüzlülüğündeki değer OTEC1 kesici takımda göre; OTEC2 kesici takımda %7,69 artmış, helisel dalga formlu kesici takımda ise %3,84 azalmıştır. Helisel dalga formlu kesici takım ile elde edilen ortalama yüzey pürüzlülüğü değeri, OTEC2 kesici takıma göre %10,71 azalmıştır.
- 320 m/dk kesme hızı ve 0,11 mm/diş ilerleme miktarında ortalama yüzey pürüzlülüğü değeri OTEC1 kesici takıma göre; OTEC2 kesici takım ve helisel dalga formlu kesici takımda %29,03 azalmıştır. Helisel dalga formlu kesici takım ile elde edilen ortalama yüzey pürüzlülüğü değeri, OTEC2 kesici takımdaki ortalama yüzey pürüzlülüğü ile aynıdır.

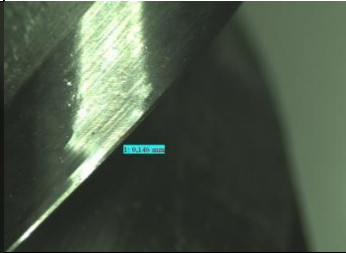
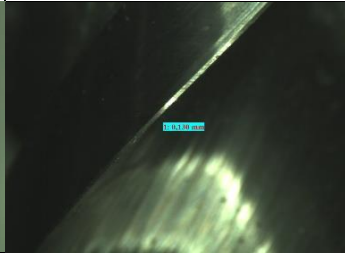
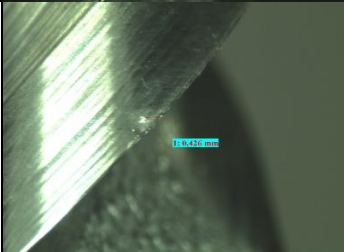
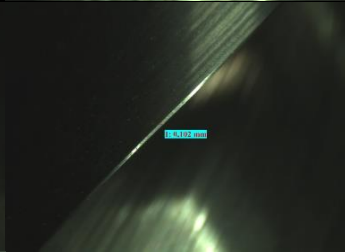
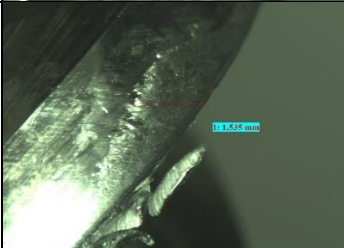
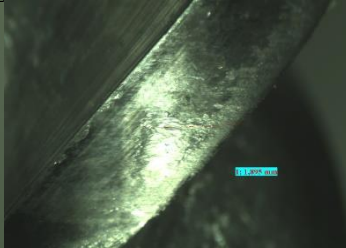
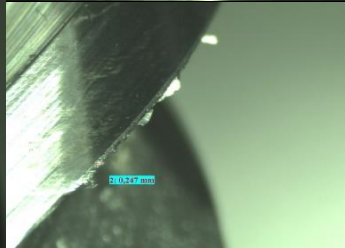
Şekil 5.1. incelendiğinde Ra için;

- Aşınma miktarı en düşük olan takım OTEC1 kesici takımdır. Düşük miktarda köşe yuvarlatmanın (4-5 μ m) BUE'yi azalttığı dolayısıyla takım aşınmasına karşı olumlu etki ettiği görülmektedir. OTEC2 kesici takımda BUE görülmüştür ve OTEC2 kesici takım ile yapılan deneylerde yüzey kalitesinin bozulması beklenirken düşük Ra değerleri elde

edilmiştir. Bunun sebebi, deney malzemesi kapalı kanal şeklinde işlendiği için takımda kesici kenara sıvanan malzemenin işlenen yüzeylere de sıvanma etkisi yarattığı dolayısıyla yüzey kalitesini olumlu etkilediği şeklinde açıklanabilir. Yüksek köşe yuvarlatmanın (7-9 μm) BUE oluşumuna sebep olduğu görülmüştür (Çizelge 5.2).

- Düşük seviye ilerleme miktarında (0,085 mm/diş) üç farklı kesme hızında en kötü performansı standart kesici takım göstermektedir. Düşük ilerlemede kesme hızı arttıkça standart kesici takımın keskin kenarındaki hızlı aşınmanın yüzey kalitesini olumsuz etkilediği düşünülmektedir.
- Düşük seviye ilerleme miktarında üç farklı kesme hızında da OTEC1 ve OTEC2 kesici takımın iyi performans sergilediği görülmektedir. Ancak OTEC2 takımında görülen yüksek BUE oluşumunun işlenen yüzeylerde sıvanma etkisi ile yüzey kalitesinde olumlu etki yaptığı düşünülmektedir. Buna göre kesici kenarda düşük miktarda yapılan yuvarlama işleminin (4-5 μm) standart takımdaki keskin kesici kenara göre aşınmayı geciktirdiği buna bağlı olarak ortalama yüzey pürüzlülüğüne olumlu etki ettiği görülmektedir. Daha yüksek değerlerde yapılan köşe yuvarlamanın (7-9 μm) BUE eğilimini artırdığı görüldüğünden elde edilen yüksek yüzey kalitesinin kesmeden çok perdahlamaya bağlı geliştiği düşünülmektedir.

Çizelge 5.2. Kesici takımlara ait aşınma değerleri ($f=0,085 \text{ mm/diş}$)

Takım	V=280 m/dk	V=300 m/dk	V=320 m/dk
Standart			
OTEC1			
OTEC2			

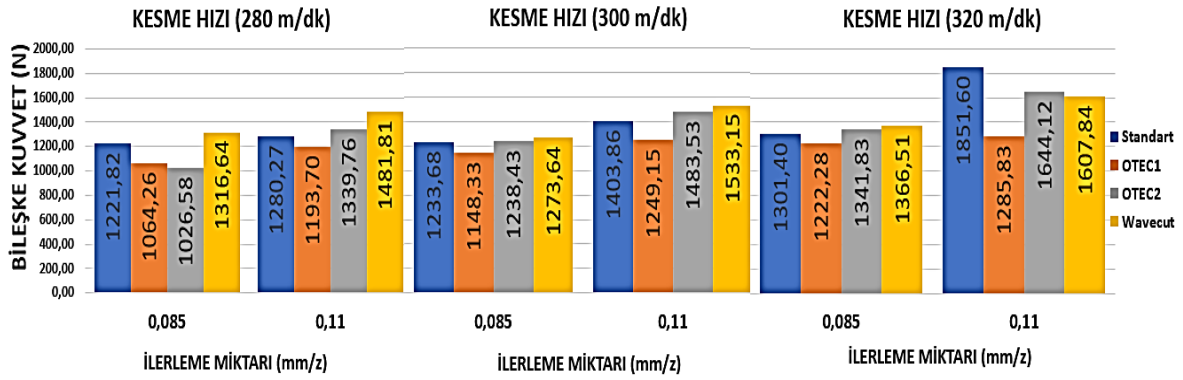
Tüm işleme parametrelerinde en iyi yüzey pürüzlülük değerleri ($R_a=0,19 \mu\text{m}$) 4-5 μm köşe yuvarlatma değerine sahip OTEC1 olarak isimlendirilen kesici takım ile 300 m/dk kesme hızı ve 0,085 mm/diş ilerleme miktarı kullanılarak yapılan deneylerde elde edilmiştir.

5.2. Kesme Kuvvetleri ve Burulma Momenti

Deneyler esnasında belirlenen kesme parametreleri ve kullanılan takımlara göre ölçülen kesme kuvveti (F_x , F_y , F_z) ve burulma moment (M_z) değerleri, elde edilen değerlerle hesaplanan bileşke kuvvet (F_R) Çizelge 5.3'te verilmiştir. Bileşke kuvvetin ve burulma momentinin, kesme hızı ve ilerleme miktarına bağlı değişimine bakılmıştır. Bileşke kuvvetin, kesme hızı ve ilerleme miktarına bağlı değişimi Şekil 5.2'de, burulma momentin, kesme hızı ve ilerleme miktarına bağlı değişimi ise Şekil 5.3'te verilmiştir.

Çizelge 5.3. Kesme parametrelerine göre bileşke kuvvet ve burulma moment değeri

Deney	Takım	İlerleme Miktarı (fz) (mm/diş)	Kesme Hızı (V) (m/dk)	Kesme Kuvveti (F_x) (N)	Kesme Kuvveti (F_y) (N)	Kesme Kuvveti (F_z) (N)	Bileşke Kuvvet (F_R) (N)	Burulma Momenti (M_z) (Nm)
L1	Standart	0,085	280	1018	557,8	381,3	1221,82	62,50
L2	Standart	0,085	300	1025	598,2	336,9	1233,68	58,89
L3	Standart	0,085	320	1013	733,6	359,6	1301,40	48,00
L4	Standart	0,11	280	1147	448,7	349,5	1280,27	86,91
L5	Standart	0,11	300	1176	631,3	435,1	1403,86	73,59
L6	Standart	0,11	320	1324	1154	586,3	1851,60	58,49
L7	OTEC1	0,085	280	947,9	325,2	358,3	1064,26	63,63
L8	OTEC1	0,085	300	976,9	430,1	423,5	1148,33	61,23
L9	OTEC1	0,085	320	1002	538,9	446,7	1222,28	60,21
L10	OTEC1	0,11	280	1107	317,1	314,5	1193,70	63,82
L11	OTEC1	0,11	300	1104	384,2	440,4	1249,15	63,67
L12	OTEC1	0,11	320	1105	440,9	487,8	1285,83	86,38
L13	OTEC2	0,085	280	917,2	351	299	1026,58	70,70
L14	OTEC2	0,085	300	993,2	615,7	410,1	1238,43	49,17
L15	OTEC2	0,085	320	984,7	802,6	432,1	1341,83	41,70
L16	OTEC2	0,11	280	1165	504,1	428,5	1339,76	76,86
L17	OTEC2	0,11	300	1213	661,9	539,8	1483,53	65,92
L18	OTEC2	0,11	320	1233	892,3	621,8	1644,12	55,67
L19	Wavecut	0,085	280	1033	668,7	468,3	1316,64	52,74
L20	Wavecut	0,085	300	1024	592,6	471,6	1273,64	50,20
L21	Wavecut	0,085	320	1041	743,5	480,5	1366,51	50,74
L22	Wavecut	0,11	280	1263	523,1	571,8	1481,81	95,02
L23	Wavecut	0,11	300	1243	680,3	585,4	1533,15	66,50
L24	Wavecut	0,11	320	1210	870,8	602,3	1607,84	56,79



Şekil 5.2. Bileşke kuvvetin, kesme hızı ve ilerleme miktarına bağlı değişimi

Şekil 5.2'e göre sabit kesme hızlarında ilerleme miktarının artışına göre her takım için bileşke kuvvet değişimi incelendiğinde;

- 280 m/dk kesme hızında ilerleme arttıkça F_R değeri için; standart takımda %4,78 artış, OTEC1'de %12,16 artış, OTEC2'de %30,50 artış, helisel dalga formlu kesici takımda ise %12,54 artış,
- 300 m/dk kesme hızında ilerleme miktarı arttıkça standart takımdaki F_R değeri için; %13,79 artış, OTEC1'de %8,77 artış, OTEC2'de %19,79 artış, helisel dalga formlu kesici takımda ise %20,37 artış,
- 320 m/dk kesme hızında ilerleme miktarı arttıkça standart takımdaki F_R değeri için; %42,77 artış, OTEC1'de %5,19 artış, OTEC2'de %22,52 artış, helisel dalga formlu kesici takımda ise %17,66 artış olduğu görülmektedir.

Sabit ilerleme miktarında kesme hızı arttıkça her takım için bileşke kuvvet değişimi incelendiğinde;

- İlerleme miktarı 0,085 mm/diş iken kesme hızı 280 m/dk'dan 300 m/dk'ya çıktığında F_R değeri için; standart takımda %0,97 artış, OTEC1'de %7,89 artış, OTEC2'de %20,63 artış, helisel dalga formlu kesici takımda ise %3,23 azalma,
- İlerleme miktarı 0,085 mm/diş iken kesme hızı 280 m/dk'dan 320 m/dk'ya çıktığında F_R değeri için; standart takımda %6,51 artış, OTEC1'de %14,84 artış, OTEC2'de %30,7 artış, helisel dalga formlu kesici takımda ise %3,78 artış,

- İlerleme miktarı 0,11 mm/diş iken kesme hızı 280 m/dk'dan 300 m/dk'ya çıktığında F_R değeri için; standart takımda %9,65 artış, OTEC1'de %4,64 artış, OTEC2'de %10,73 artış, helisel dalga formulu takımında ise %3,46 artış,
- İlerleme miktarı 0,11 mm/diş iken kesme hızı 280 m/dk'dan 320 m/dk'ya çıktığında F_R değeri için; standart takımda %942,62 artış, OTEC1'de %7,71 artış, OTEC2'de %22,71 artış, helisel dalga formulu takımında ise %8,5 artış olduğu görülmektedir.

Sabit kesme hızı ve sabit ilerleme miktarında takımlardaki bileşke kuvvet değişimi standart takım ile kıyaslandığında;

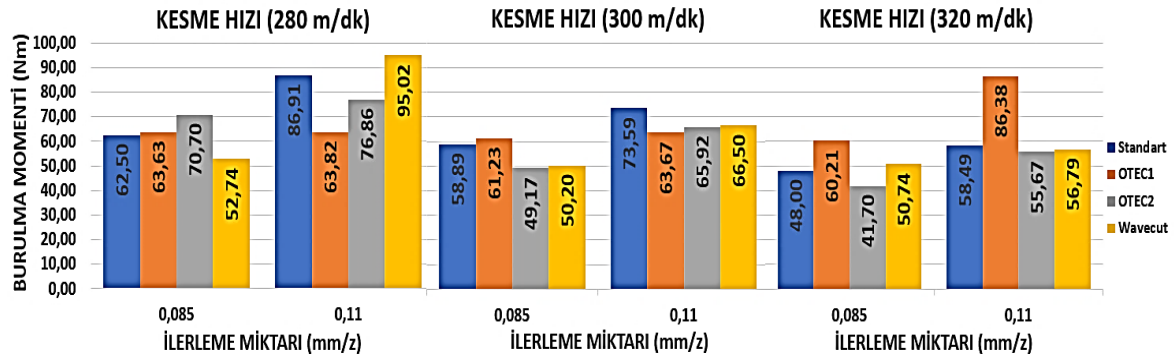
- 280 m/dk kesme hızı, 0,085 mm/diş ilerleme miktarı için F_R değeri standart takıma göre; OTEC1'de %12,89 azalmış, OTEC2'de %15,97 azalmış, helisel dalga formulu kesici takımında ise %7,76 artmıştır.
- 280 m/dk kesme hızı, 0,11 mm/diş ilerleme miktarı için F_R değeri standart takıma göre; OTEC1'de %6,76 azalmış, OTEC2'de %4,64 artmış, helisel dalga formulu kesici takımında ise %15,74 artmıştır.
- 300 m/dk kesme hızı, 0,085 mm/diş ilerleme miktarı için F_R değeri standart takıma göre; OTEC1'de %6,91 azalmış, OTEC2'de %0,38 artmış, helisel dalga formulu kesici takımında ise %3,23 artmıştır.
- 300 m/dk kesme hızı, 0,11 mm/diş ilerleme miktarı için F_R değeri standart takıma göre; OTEC1'de %11,02 azalmış, OTEC2'de %5,67 artmış, helisel dalga formulu kesici takımında ise %9,20 artmıştır.
- 320 m/dk kesme hızı, 0,085 mm/diş ilerleme miktarı için F_R değeri standart takıma göre; OTEC1'de %6,07 azalmış, OTEC2'de %3,10 artmış, helisel dalga formulu kesici takımında ise %5 artmıştır.
- 320 m/dk kesme hızı, 0,11 mm/diş ilerleme miktarı için F_R değeri standart takıma göre; OTEC1'de %30,55 azalmış, OTEC2'de %11,20 azalmış, helisel dalga formulu kesici takımında ise %13,16 azalmıştır.

Standart takım dışındaki diğer üç takım için sabit kesme hızı ve sabit ilerlemede bileşke kuvvetteki değişimler birbirleri ile kıyaslanacak olursa;

- 280 m/dk kesme hızı ve 0,085 mm/diş ilerleme miktarında F_R değeri OTEC1 kesici takıma göre; OTEC2 kesici takımında %3,54 azalmış, helisel dalga formlu kesici takımında ise %23,71 artmıştır. Helisel dalga formlu kesici takımında oluşan F_R değeri OTEC2 kesici takıma göre %28,25 artmıştır.
- 280 m/dk kesme hızı ve 0,11 mm/diş ilerleme miktarında F_R değeri OTEC1 kesici takıma göre; OTEC2 kesici takımında %12,42 artmış, helisel dalga formlu kesici takımında ise %23,34 artmıştır. Helisel dalga formlu kesici takımındaki oluşan F_R değeri OTEC2 kesici takıma göre %10,6 artmıştır.
- 300 m/dk kesme hızı ve 0,085 mm/diş ilerleme miktarında F_R değeri OTEC1 kesici takıma göre; OTEC2 kesici takımında %7,84 artmış, helisel dalga formlu kesici takımında ise %10,91 artmıştır. Helisel dalga formlu kesici takımında oluşan F_R değeri OTEC2 kesici takıma göre %2,84 artmıştır.
- 300 m/dk kesme hızı ve 0,11 mm/diş ilerleme miktarında F_R değeri OTEC1 kesici takıma göre; OTEC2 kesici takımında %18,76 artmış, helisel dalga formlu kesici takımında ise %22,73 artmıştır. Helisel dalga formlu kesici takımında oluşan F_R değeri OTEC2 kesici takıma göre %3,34 artmıştır.
- 320 m/dk kesme hızı ve 0,085 mm/diş ilerleme miktarında F_R değeri OTEC1 kesici takıma göre; OTEC2 kesici takımında %9,78 artmış, helisel dalga formlu kesici takımında ise %11,8 artmıştır. Helisel dalga formlu kesici takımında oluşan F_R değeri OTEC2 kesici takıma göre %1,83 artmıştır.
- 320 m/dk kesme hızı ve 0,11 mm/diş ilerleme miktarında F_R değeri OTEC1 kesici takıma göre; OTEC2 kesici takımında %27,86 artmış, helisel dalga formlu kesici takımında ise %25,04 artmıştır. Helisel dalga formlu kesici takımında oluşan F_R değeri kesici takıma göre %2,2 azalmıştır.

Şekil 5.2. incelendiğinde F_R değeri; tüm kesici takımlarda kesme hızı ve ilerlemedeki artışa bağlı olarak artma eğiliminde olduğu görülmüştür. Üç farklı geometri için de bileşke kuvvetin en yüksek olduğu değer ilerlemenin ve kesme hızının en yüksek olduğu değerlerde elde edilmiştir. Talaş kaldırma işlemlerinde kesme kuvvetinin talaş kesiti ve işlenen malzemenin özgül kesme direnci ile ilişkisi dikkate alındığında artan talaş hacminin kesme kuvvetlerini arttırması beklenen bir durumdur [79].

Tüm takım ve işleme şartlarında en düşük F_R değeri (1026,58 N) 7-9 μm köşe yuvarlatma değerine sahip OTEC2 olarak isimlendirilen kesici takım ile 280 m/dk kesme hızı, 0,085 mm/diş ilerleme miktarı ile yapılan deneylerde elde edilmiştir. En düşük kesme hızında (280 m/dk) OTEC2 kesici takımla, orta (300 m/dk) ve yüksek kesme hızı (320 m/dk) değerlerinde ise OTEC1 kesici takımla işleme sırasında oluşan bileşke kuvvetin diğer üç takıma göre daha düşük olduğu görülmektedir. Ancak kesme hızındaki artışa bağlı olarak yüksek köşe yuvarlatma değerinin (OTEC2) bileşke kuvvetler, üzerinde olumsuz etki yaptığı ve F_R değerini önemli ölçüde arttığı görülmekte, BUE oluşturma eğilimi yüksek bir malzeme olan Al alaşımlarında, yüksek köşe yuvarlatma değerlerinin BUE oluşumuna bağlı kesme kuvvetlerini artırdığı düşünülmektedir. Genel anlamda, Al alaşımları işlenirken BUE oluşumunu azaltmak için tavsiye edilen keskin kesici kenar uygulamasının, yüksek kesme hızlarında kesici kenarda hızlı aşınmaya sebep olarak kesme kuvvetleri ve yüzey kalitesini olumsuz etkilediği, kesici kenarda belli bir değerde yapılacak köşe yuvarlatma işleminin bu hızlı aşınmanın önüne geçerek kesme kuvvetleri ve yüzey kalitesi üzerinde olumlu etki yaptığı ancak bu köşe yuvarlatma değerinin belli bir değerde kalması gerektiği, fazla olması halinde tekrar olumsuz bir etki yaptığı söylenebilir.



Şekil 5.3. Burulma momentin, kesme hızı ve ilerleme miktarına bağlı değişimi

Şekil 5.3'e göre sabit kesme hızlarında ilerleme miktarının artışına göre her takım için momentteki değişim incelendiğinde;

- 280 m/dk kesme hızında ilerleme arttıkça momentler için; standart takımda %39,06 artış, OTEC1'de %0,29 artış, OTEC2'de %8,71 artış, helisel dalga formlu kesici takımda ise %80,16 artış,

- 300 m/dk kesme hızında ilerleme miktarı arttıkça momentler için; standart takımda %24,96 artış, OTEC1'de %3,98 artış, OTEC2'de %34,06 artış, helisel dalga formlu kesici takımda ise %32,47 artış,
- 320 m/dk kesme hızında ilerleme miktarı arttıkça momentler için; standart takımda %21,85 artış, OTEC1'de %43,46 artış, OTEC2'de %33,50 artış, helisel dalga formlu kesici takımda ise %11,92 artış olduğu görülmektedir.

Sabit ilerleme miktarında kesme hızı arttıkça her takım için momentteki değişim incelendiğinde;

- İlerleme miktarı 0,085 mm/diş iken kesme hızı 280 m/dk'dan 300 m/dk'ya çıktığında momentte; standart takımda %5,77 azalma, OTEC1'de %3,77 azalma, OTEC2'de %30,45 azalma, helisel dalga formlu kesici takımda ise %4,81 azalma,
- İlerleme miktarı 0,085 mm/diş iken kesme hızı 280 m/dk'dan 320 m/dk'ya çıktığında momentte; standart takımda %23,2 azalma, OTEC1'de %5,37 azalma, OTEC2'de %41,01 azalma, helisel dalga formlu kesici takımda ise %3,79 azalma,
- İlerleme miktarı 0,11 mm/diş iken kesme hızı 280 m/dk'dan 300 m/dk'ya çıktığında momentte; standart takımda %15,32 azalma, OTEC1'de %0,23 azalma, OTEC2'de %14,23 azalma, helisel dalga formlu takımda ise %30,01 azalma,
- İlerleme miktarı 0,11 mm/diş iken kesme hızı 280 m/dk'dan 320 m/dk'ya çıktığında momentte; standart takımda %32,7 azalma, OTEC1'de %35,34 artış, OTEC2'de %27,56 azalma, helisel dalga formlu takımda ise %40,23 azalma olduğu görülmektedir.

Sabit kesme hızı ve sabit ilerleme miktarında takımlardaki moment değişimleri standart takım ile kıyaslandığında;

- 280 m/dk kesme hızı, 0,085 mm/diş ilerleme miktarı için momentteki değişim standart takıma göre; OTEC1'de %1,81 artmış, OTEC2'de %13,12 artmış, helisel dalga formlu kesici takımda ise %15,62 azalmıştır.
- 280 m/dk kesme hızı, 0,11 mm/diş ilerleme miktarı için momentteki değişim standart takıma göre; OTEC1'de %26,56 azalmış, OTEC2'de %11,56 azalmış, helisel dalga formlu kesici takımda ise %9,33 artmıştır.

- 300 m/dk kesme hızı, 0,085 mm/diş ilerleme miktarı için momentteki değişim standart takıma göre; OTEC1'de %3,97 artmış, OTEC2'de %16,5 azalmış, helisel dalga formlu kesici takımda ise %14,75 azalmıştır.
- 300 m/dk kesme hızı, 0,11 mm/diş ilerleme miktarı için momentteki değişim standart takıma göre; OTEC1'de %13,48 azalmış, OTEC2'de %10,42 azalmış, helisel dalga formlu kesici takımda ise %9,63 azalmıştır.
- 320 m/dk kesme hızı, 0,085 mm/diş ilerleme miktarı için momentteki değişim standart takıma göre; OTEC1'de %25,43 artmış, OTEC2'de %13,12 azalmış, helisel dalga formlu kesici takımda ise %5,7 artmıştır.
- 320 m/dk kesme hızı, 0,11 mm/diş ilerleme miktarı için momentteki değişim standart takıma göre; OTEC1'de %47,68 artmış, OTEC2'de %4,82 azalmış, helisel dalga formlu kesici takımda ise %2,9 azalmıştır.

Standart takım dışındaki diğer üç takım için sabit kesme hızı ve sabit ilerlemede moment değişimleri birbirleri ile kıyaslanacak olursa;

- 280 m/dk kesme hızı ve 0,085 mm/diş ilerleme miktarında moment OTEC1 kesici takıma göre; OTEC2 kesici takımda %11,11 artmış, helisel dalga formlu kesici takımda ise %17,11 azalmıştır. Helisel dalga formlu kesici takımda oluşan moment OTEC2 kesici takıma göre ise %25,4 azalmıştır.
- 280 m/dk kesme hızı ve 0,11 mm/diş ilerleme miktarında moment OTEC1 kesici takıma göre; OTEC2 kesici takımda %20,43 artmış, helisel dalga formlu kesici takımda ise %48,88 artmıştır. Helisel dalga formlu kesici takımda oluşan moment OTEC2 kesici takıma göre %23,62 artmıştır.
- 300 m/dk kesme hızı ve 0,085 mm/diş ilerleme miktarında moment OTEC1 kesici takıma göre; OTEC2 kesici takımda %19,69 azalmış, helisel dalga formlu kesici takımda ise %18,01 azalmıştır. Helisel dalga formlu kesici takımda oluşan moment OTEC2 kesici takıma göre %2,09 artmıştır.
- 300 m/dk kesme hızı ve 0,11 mm/diş ilerleme miktarında moment OTEC1 kesici takıma göre; OTEC2 kesici takımda %3,53 artmış, helisel dalga formlu kesici takımda ise %4,44 artmıştır. Helisel dalga formlu kesici takımda oluşan moment OTEC2 kesici takıma göre %0,87 artmıştır.

- 320 m/dk kesme hızı ve 0,085 mm/diş ilerleme miktarında moment OTEC1 kesici takıma göre; OTEC2 kesici takımında %30,74 azalmış, helisel dalga formulu kesici takımında ise %15,72 azalmıştır. Helisel dalga formulu kesici takımında oluşan moment OTEC2 kesici takıma göre %21,67 artmıştır.
- 320 m/dk kesme hızı ve 0,11 mm/diş ilerleme miktarında moment OTEC1 kesici takıma göre; OTEC2 kesici takımında %35,55 azalmış, helisel dalga formulu kesici takımında ise %34,25 azalmıştır. Helisel dalga formulu kesici takımında oluşan moment OTEC2 kesici takıma göre %2,01 artmıştır

Şekil 5.3. incelendiğinde M_z ;

- Orta seviye kesme hızında (300 m/dk) daha kararlı sonuçlar sergilemiş ve F_R için elde edilen grafikteki sonuçlar ile eğilim olarak paralellik arz etmektedir.
- 280 m/dk kesme hızında yüksek ilerleme miktarında (0,11 mm/diş) F_R ile benzer eğilim görülmüştür. Düşük ilerleme miktarında (0,085 mm/diş) ve yüksek seviye kesme hızında (320 m/dk) burulma momenti bileşke kuvvet için oluşan eğilimden farklılık göstermiştir.
- Yüksek kesme hızında OTEC1 kesici takımında M_z değeri artmıştır. Yüzey kalitesi için olumlu sonuçlar sergilediği için tercih edilebilecek bu takım ile çalışırken, takım kırılması ihtimalini azaltmak için, burulmaya karşı daha dikkatli olunması önerilebilir.

Tüm işleme parametrelerinde en iyi bileşke moment değeri ($M_z = 41,7 \text{ Nm}$) 7-9 μm köşe yuvarlatma değerine sahip OTEC2 olarak isimlendirilen kesici takım ile 320 m/dk kesme hızı ve 0,085 mm/diş ilerleme miktarı kullanılarak yapılan deneylerde elde edilmiştir.

5.3. Varyans Analizi (ANOVA) Sonuçları

5.3.1. Yüzey pürüzlülüğü için varyans analizi

Kesici takım geometrisi, kesme hızı ve ilerleme miktarı parametrelerinin, frezeleme işleminde ortalama yüzey pürüzlülüğüne (R_a), tek yönlü etkileri ve çift yönlü etkileri varyans analiziyle test edilmiştir. Çizelge 5.4'te varyans analizi sonuçları incelendiğinde, üç parametrenin de tekil etkilerinin bileşke kuvvet üzerinde anlamlı olmadığı görülmektedir. Ancak takım faktörünün yüzde etkisi (C:9,82) varyans analizi toplam hata miktarının yüzde

etkisinden (C:6,34) yüksek olduğu için deney üzerindeki etkisi değerlendirilebilir. İki yönlü etkileşimlerin frezeleme işleminde bileşke kuvvete olan etkisi incelenecek olursa, parametre etkileşimlerinin bileşke kuvvet üzerinde etkili olduğu anlaşılmaktadır. Etki derecelerine göre parametreler; takım*ilerleme miktarı, ilerleme miktarı*kesme hızı, takım*kesme hızı olarak sıralanabilir.

Çizelge 5.4. Ortalama yüzey pürüzlülüğü varyans analizi

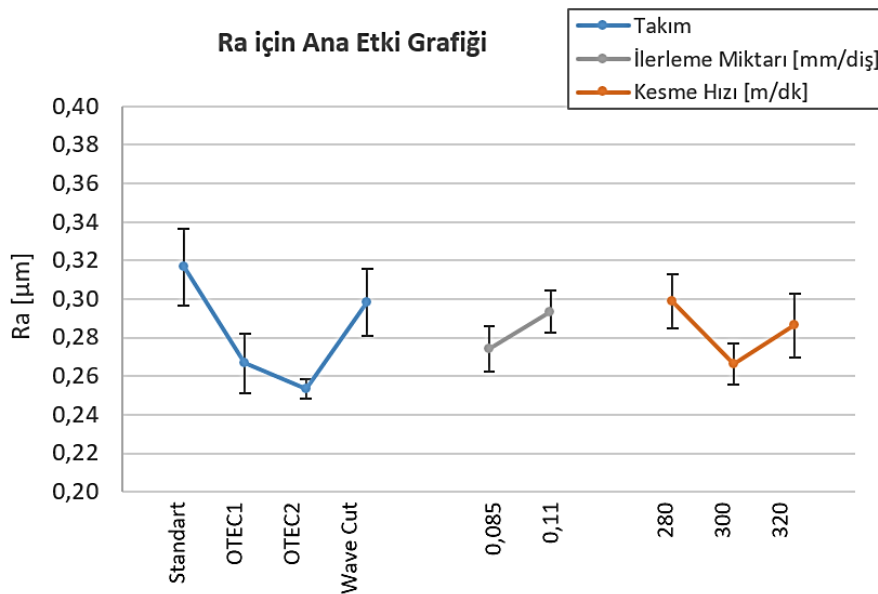
Faktör	SD	KT	KO	F	P	C
Model	17	0,143829	0,008461	5,22	0,025	93,66
Lineer	6	0,021583	0,003597	2,22	0,178	14,05
Takım	3	0,015079	0,005026	3,1	0,111	9,82
İlerleme Miktarı	1	0,002204	0,002204	1,36	0,288	1,44
Kesme Hızı	2	0,0043	0,00215	1,33	0,334	2,80
2-Yönlü Etkileşim	11	0,122246	0,011113	6,85	0,014	79,61
Takım*İlerleme Miktarı	3	0,048479	0,01616	9,96	0,01	31,57
Takım*Kesme Hızı	6	0,031733	0,005289	3,26	0,088	20,66
İlerleme Miktarı*Kesme Hızı	2	0,042033	0,021017	12,96	0,007	27,37
Hata	6	0,009733	0,001622			6,34
Toplam	23	0,153562				100,00

KT: Kareler Toplamı, KO: Kareler Ortalaması, SD: Serbestlik Derecesi, F: F testi, P: Olasılık, C: Etki Oranı

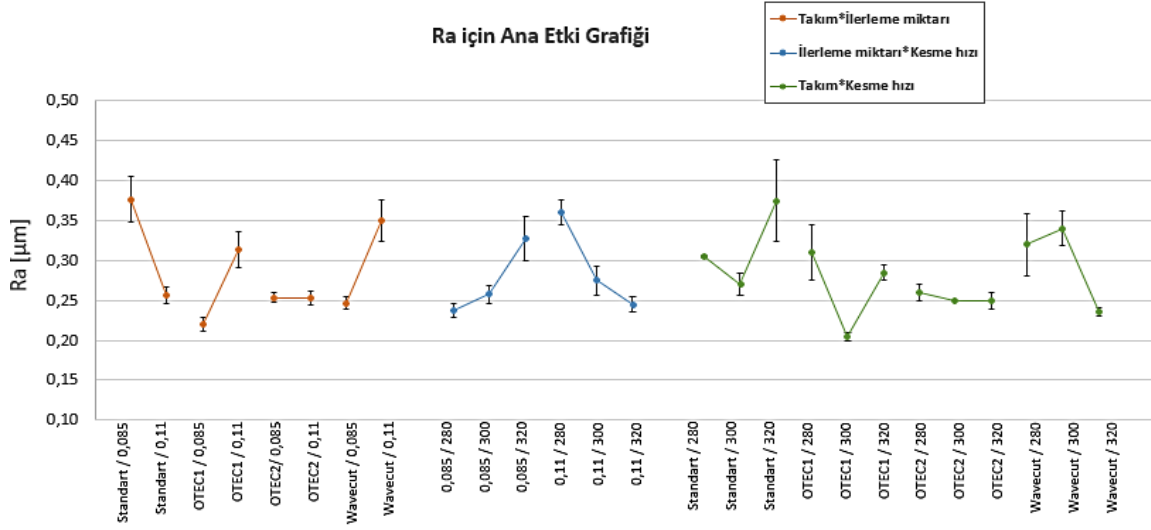
Yüzey pürüzlülüğü için tek yönlü ana etki grafiğine bakıldığında takım faktörü için; Ra değerlerinin ortalamasının en düşük olduğu değer OTEC2 kesici takımında elde edildiği, OTEC2 kesici takım ile keskin kenarlı standart ve helisel dalga formlu kesici takım arasında fark olduğu görülmektedir (Şekil 5.4). Deney sonucunda en iyi yüzey pürüzlülük değeri OTEC1 kesici takımın kullanıldığı deney deseninde elde edilirken, OTEC2 kesici takım ile gerçekleştirilen deneylerin Ra değerlerinin ortalaması daha düşüktür. Daha açıkça ifade etmek gerekirse, OTEC2 takım ile elde edilen yüzey pürüzlülük değerlerinin standart sapması, OTEC1 takım ile elde edilen yüzey pürüzlülük değerlerinden daha düşük bulunmuştur. Ancak bu tespiti rağmen, OTEC1 kesici takım ile arasındaki fark istatistiksel olarak anlamlı bulunmamıştır. Helisel dalga formlu kesici takım, OTEC1 ve OTEC2 kesici takıma göre Ra değerlerinin ortalamasında artışa sebep olmuştur. Helisel dalga formlu kesici takım ile elde edilen Ra değerleri, keskin kenarlı standart kesici takıma göre daha düşüktür.

ancak aralarındaki farkın anlamlı olmadığı görülmektedir. Burada köşe yuvarlatmanın, yüzey pürüzlülüğünü olumlu etkilediğini fakat bu yuvarlamanın belli değerler arasında kalması gerektiği anlaşılmaktadır. Tek yönlü parametrelerden ilerleme miktarı artışının yüzey pürüzlülüğüne olumsuz etkisi vardır. Fakat bu değerler arasındaki fark anlamlı değildir.

Yüzey pürüzlülüğü için çift yönlü ana etki grafiğine bakıldığında takım*ilerleme miktarı faktörü için; alüminyumun standart kesici takım ile işlenmesi esnasında ilerleme miktarı arttıkça Ra değerinin artması beklenirken bu değerde düşüş meydana gelmiştir (Şekil 5.5.). Bu durumun, ilerleme miktarı arttığında talaş tahliyesinin hızlanacağı ve talaşın takıma yapışacak süresinin kalmayacağından kaynaklı olduğu düşünülmektedir. OTEC1 ve helisel dalga formlu kesici takım da ise beklenildiği gibi ilerleme miktarı arttıkça Ra değeri ortalamasının da arttığı görülmektedir. Ancak OTEC2 kesici takım, Ra değeri için ilerleme miktarından etkilenmemektedir. İlerleme miktarı*kesme hızı parametrelerinin etkileşimler incelendiğinde düşük seviye ilerlemede (0,085 mm/diş) kesme hızı arttıkça Ra değeri ortalamasının arttığı fakat yüksek seviye ilerlemede (0,11 mm/diş) kesme hızı arttıkça Ra değeri ortalamasının azaldığı görülmektedir. Takım*kesme hızı parametre etkileşimlerine göre standart, OTEC1 ve OTEC2 kesici takım için; Ra değeri ortalaması orta seviye kesme hızında (300 m/dk) en düşük elde edilirken, helisel dalga formlu kesici takımında Ra değeri ortalaması orta seviye kesme hızında (300 m/dk) en yüksek gerçekleşmiştir.



Şekil 5.4. Ortalama yüzey pürüzlülüğü tek yönlü ana etki grafiği



Şekil 5.5. Ortalama yüzey pürüzlülüğü çift yönlü ana etki grafiği

5.3.2. Bileşke kuvveti için varyans analizi

Varyans analiziyle; takım geometrisi, kesme hızı ve ilerleme miktarı parametrelerinin, frezeleme işleminde bileşke kuvvete (F_R), tek yönlü etkileri ve çift yönlü parametre etkileşimlerinin etkileri değerlendirilmiştir. Çizelge 5.5'te varyans analizi sonuçları incelendiğinde, üç parametrenin de bileşke kuvvet üzerinde tekil etkilerinin anlamlı olduğu görülmüştür. Etki derecelerine göre parametreler, ilerleme miktarı, kesme hızı ve takım geometrisi olarak sıralanabilir. İki yönlü etkileşimlerin frezeleme işleminde bileşke kuvvete olan etkisi incelenecek olursa, parametre etkileşimlerinin bileşke kuvvet üzerinde etkili olmadığı anlaşılmaktadır.

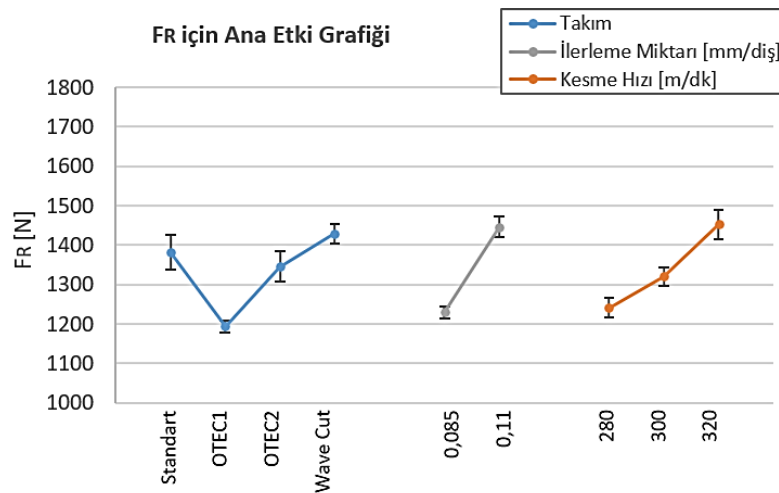
Bileşke kuvvet için tek yönlü ana etki grafiğine bakıldığında takım faktörü için; en iyi performansı OTEC1 kesici takım verirken, kenar yuvarlama işlemi arttıkça F_R değerlerinin ortalamasında artış meydana gelmektedir (Şekil 5.6). Standart kesici takım ile OTEC2 ve helisel dalga formlu kesici takım arasındaki fark istatistiksel olarak anlamlıyken en düşük F_R değerlerinin elde edildiği OTEC1 kesici takım ile diğer kesici takımlar arasındaki fark istatistiksel olarak anlamlı değildir. Bu da düşük köşe yuvarlama değerinin ($4-5 \mu\text{m}$) F_R üzerinde olumlu etki ettiği fakat kesici takımdaki keskin kenarın veya yüksek köşe yuvarlama değerinin, F_R değerinde artışa sebep olduğu şeklinde yorumlanabilir. İlerleme miktarı ve kesme hızı faktörü için; iki parametrenin artmasıyla F_R değerlerinde artış meydana gelmektedir. En yüksek F_R değeri kesme hızının ve ilerleme miktarının en yüksek olduğu deneylerde elde edilmiştir.

F_R için çift yönlü ana etki grafiği incelendiğinde; ilerleme miktarı ve kesme hızı arttıkça F_R değerlerinde artış görüldüğü söylenebilir (Şekil 5.7). Ancak varyans analizi sonuçlarına göre parametre çift yönlü etkileşimlerinin F_R üzerindeki etkisi istatistiksel olarak anlamsız (yok) bulunmuştur. Takım*kesme hızı etkileşiminin yüzde etkisi (C:6,98) varyans analizi toplam hata miktarının yüzde etkisinden (C:6,75) daha yüksek olduğu için tip 2 hataya düşmemek için takım*kesme hızı etkileşimi sonuçları da değerlendirmeye alınmıştır.

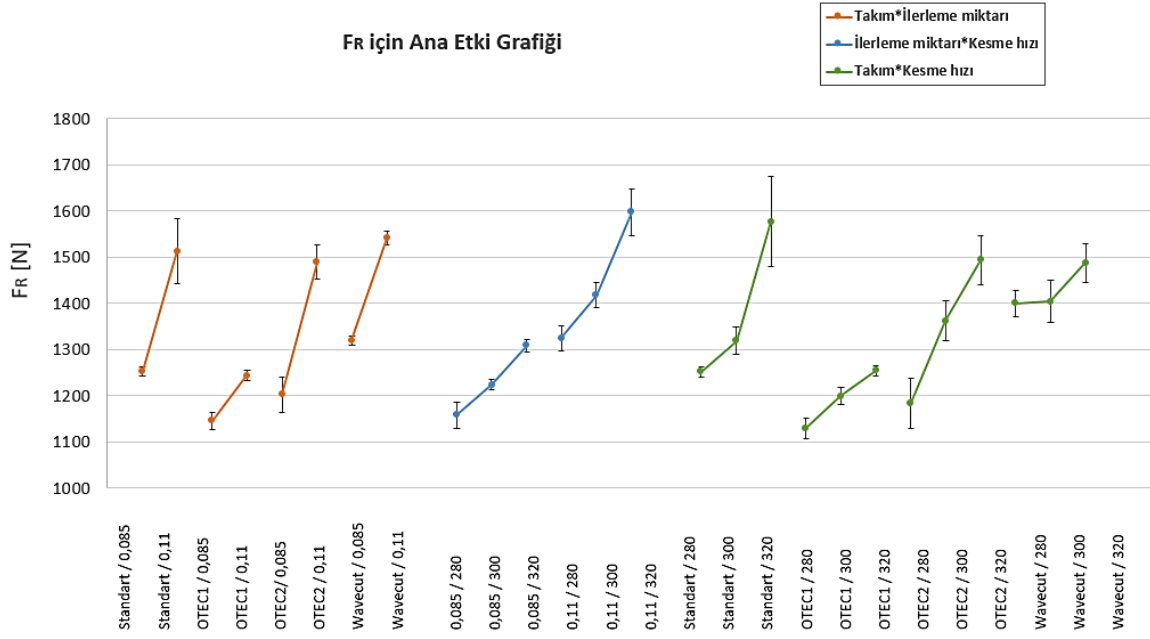
Çizelge 5.5. Bileşke kuvvet varyans analizi

Faktör	SD	KT	KO	F	P	C
Model	17	756946	44526	4,88	0,03	93,25
Lineer	6	652332	108722	11,91	0,004	80,36
Takım	3	187285	62428	6,84	0,023	23,07
İlerleme Miktarı	1	281496	281496	30,84	0,001	34,68
Kesme Hızı	2	183551	91776	10,05	0,012	22,61
2-Yönlü Etkileşim	11	104613	9510	1,04	0,506	12,89
Takım*İlerleme Miktarı	3	31344	10448	1,14	0,404	3,86
Takım*Kesme Hızı	6	56647	9441	1,03	0,484	6,98
İlerleme Miktarı*Kesme Hızı	2	16622	8311	0,91	0,451	2,05
Hata	6	54766	9128			6,75
Toplam	23	811712				100,00

KT: Kareler Toplamı, KO: Kareler Ortalaması, SD: Serbestlik Derecesi, F: F testi, P: Olasılık, C: Etki Oranı



Şekil 5.6. Bileşke kuvvet tek yönlü ana etki grafiği



Şekil 5.7. Bileşke kuvvet çift yönlü ana etki grafiği

5.3.3. Burulma momenti için varyans analizi

Varyans analiziyle, takım geometrisi, kesme hızı ve ilerleme miktarı parametrelerinin, frezeleme işleminde burulma momentine (M_Z), tek yönlü etkileri ve çift yönlü parametre etkileşimlerinin etkileri değerlendirilmiştir. Çizelge 5.6’da varyans analizi sonuçları incelendiğinde, ilerleme miktarı ve kesme hızı parametrelerinin tekil etkilerinin burulma momenti üzerinde etkili olduğu anlaşılmaktadır. Etki derecelerine göre parametreler; ilerleme miktarı ve kesme hızı olarak sıralanabilir. İki yönlü etkileşimlerin frezeleme işleminde burulma momentine olan etkisi incelenecek olursa, parametre etkileşimlerinin burulma momenti üzerinde istatistiksel olarak anlamlı olmadığı görülmektedir. Ancak, takım*kesme hızı parametre etkileşimlerinin yüzde etkisi (C:21,0) varyans analizi toplam hata miktarının yüzde etkisinden (C:15,2) yüksek olduğu için takım*kesme hızı parametre etkileşiminin deney üzerindeki etkileri değerlendirilebilir.

Burulma momenti için tek yönlü ana etki grafiğine bakıldığında takım faktörü için; en düşük M_Z değeri ortalamasını OTEC2 kesici takımın verdiği görülmektedir (Şekil 5.8). Bu değeri helisel dalga formulu kesici takım takip etmektedir. OTEC2 kesici takım ile helisel dalga formulu kesici takım arasındaki fark istatistiksel olarak anlamlı değildir. Standart kesici takım ve OTEC1 kesici takım ile elde edilen M_Z değerleri ortalaması diğer takımlardan daha yüksektir ve bu iki takım arasında fark yoktur. Yüksek köşe yuvarlama (7-9 μm) değeri M_Z

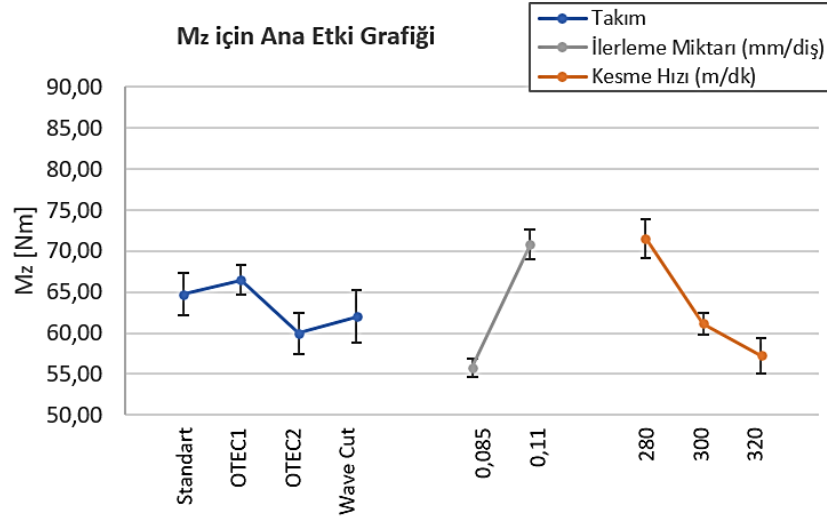
üzerinde olumlu etki ederken kesici takımındaki keskin kenar veya düşük köşe yuvarlatma değerleri (4-5 μm) M_z değerini olumsuz etkilemektedir. İlerleme miktarı ve kesme hızı faktörlerinin tekil etkileri için; M_z değeri ilerleme miktarıyla doğru orantılıyken kesme hızıyla ters orantılı bir durum sergilemiştir.

Burulma momenti için çift yönlü ana etki grafiği incelendiğinde takım*ilerleme miktarı ve ilerleme miktarı*kesme hızı etkileşimleri için; ilerleme miktarının artmasıyla M_z değerleri ortalamasında artış görülürken kesme hızının artmasıyla M_z değerleri ortalaması azalmıştır (Şekil 5.9). Takım*kesme hızı parametre etkileşimlerine bakıldığında OTEC1 kesici takım dışındaki takımlarda en düşük değer yüksek seviye kesme hızında (320 m/dk) elde edilmiştir. OTEC1 kesici takımda ise en düşük değer orta seviye kesme hızında (300 m/dk) elde edilmiştir. Kesme hızı, M_z için olumlu etkiye sahiptir.

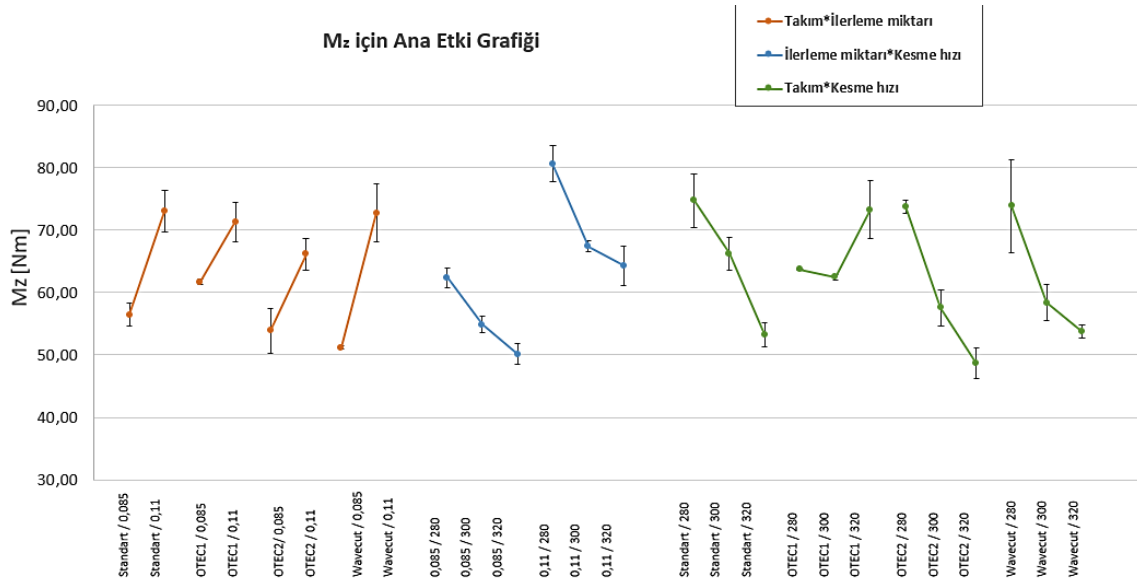
Çizelge 5.6. Burulma moment varyans analizi

Faktör	SD	KT	KO	F	P	C
Model	17	3355,11	197,36	1,97	0,207	84,8
Lineer	6	2368,68	394,78	3,93	0,06	59,9
Takım	3	148,67	49,56	0,49	0,7	3,8
İlerleme Miktarı	1	1348,73	1348,73	13,43	0,011	34,1
Kesme Hızı	2	871,29	435,64	4,34	0,068	22,0
2-Yönlü Etkileşim	11	986,43	89,68	0,89	0,589	24,9
Takım*İlerleme Miktarı	3	122,54	40,85	0,41	0,754	3,1
Takım*Kesme Hızı	6	829,22	138,2	1,38	0,354	21,0
İlerleme Miktarı*Kesme Hızı	2	34,67	17,34	0,17	0,845	0,9
Hata	6	602,45	100,41			15,2
Toplam	23	3957,56				100

KT: Kareler Toplamı, KO: Kareler Ortalaması, SD: Serbestlik Derecesi, F: F testi, P: Olasılık, C: Etki Oranı



Şekil 5.8. Burulma moment tek yönlü ana etki grafiği



Şekil 5.9. Burulma moment çift yönlü ana etki grafiği

6. SONUÇ VE ÖNERİLER

Bu tez çalışmasında; parmak frezelerdeki köşe yuvarlatma işlemlerinin standart parmak freze ve helisel dalga formlu parmak frezeye göre alüminyum7075 alaşımı üzerinde kesme kuvvetleri ve yüzey kalitesi açısından performansları incelenmiştir. Çalışmada elde edilen sonuçlar aşağıdaki gibi özetlenmiştir:

Yüzey pürüzlülüğü için;

- Parametrelerin tekil etkilerinin istatistiksel olarak anlamlı olmadığı, çift yönlü etkileşimlerin istatistiksel olarak anlamlı olduğu görülmüştür. Ancak, takım faktörü, yüzde etkisinin varyans analizi toplam hata miktarının yüzde etkisinden yüksek olduğu için değerlendirmeye alınmıştır.
- Deneyler üzerinde takımın tekil etkisine bakıldığında; OTEC2 kesici takımın diğer takımlara göre daha iyi yüzey pürüzlülüğü değerlerine ulaştığı görülmüştür. OTEC1 kesici takım ile yapılan deneylerde OTEC2 kesici takımdan sonra en iyi Ra ortalama değerlerine ulaşılmıştır. Köşe yuvarlatmanın Ra üzerinde olumlu etkiye sahip olduğu söylenebilir.
- En iyi $Ra=0,19 \mu m$, $4-5 \mu m$ köşe yuvarlatma değerine sahip OTEC1 kesici takım ile $300 m/dk$ kesme hızı, $0,085 mm/diş$ ilerleme miktarı ile yapılan deneylerde görülmektedir.
- En iyi Ra değerine ulaşılan deneyde, OTEC1 kesici takımda elde edilen ortalama yüzey pürüzlülüğü değerinde; standart takıma göre %38,7 azalma, OTEC2 kesici takıma göre %24 azalma, helisel dalga formlu kesici takıma göre %32,14 azalma vardır.
- OTEC1, OTEC2 ve helisel dalga formlu kesici takım, düşük ilerleme miktarında ($0,085 mm/diş$) standart kesici takıma göre daha iyi performans göstermiştir.
- OTEC1 kesici takım ilerleme miktarı ve kesme hızında olumsuz etkilenirken OTEC2 kesici takım üzerinde bu parametreler istatistiksel olarak anlam ifade etmemektedir.
- OTEC1 kesici takım, standart kesici takım ve OTEC2 kesici takıma göre daha az aşınmıştır. OTEC2 kesici takımda ise BUE görülmektedir.

Bileşke kuvvet için;

- Parametrelerin tekil etkilerinin istatistiksel olarak anlamlı olduğu ancak çift yönlü etkileşimlerin anlamlı olmadığı görülmektedir. Ancak, takım*kesme hızı etkileşimi, yüzde etkisinin varyans analizi toplam hata miktarının yüzde etkisinden yüksek olduğu için değerlendirmeye alınmıştır.
- Takımın deneylerdeki tekil etkisine bakıldığında; OTEC1 kesici takım ile elde edilen değerlerin diğer kesici takımlardaki F_R değerleri ortalamasından daha düşük olduğu görülmüştür. OTEC2 kesici takım ile yapılan deneylerde OTEC1 kesici takımdan sonra genel anlamda en iyi F_R ortalama değerlerine ulaşılmıştır. Köşe yuvarlatmanın F_R üzerinde olumlu etkiye sahip olduğu söylenebilir.
- En iyi kesme $F_R=1026,58$ N, 7-9 μ m köşe yuvarlatma değerine sahip OTEC2 kesici takım ile 280 m/dk kesme hızı, 0,085 mm/diş ilerleme miktarı ile yapılan deneylerde görülmektedir.
- En iyi F_R değerine ulaşılan deney deseninde OTEC2 kesici takımda elde edilen F_R değerinde; standart takıma göre %15,97 azalma, OTEC1 kesici takıma göre %3,56 azalma, helisel dalga formulu kesici takıma göre %22,03 azalma vardır.
- Tüm takımlarda kesme hızı ve ilerleme miktarı arttıkça kesme kuvvetlerinde artış meydana gelmiştir.

Burulma momenti için;

- M_Z 'ye etki eden parametreler etki derecelerine göre ilerleme miktarı, kesme hızı ve takım*kesme hızı olarak sıralanabilir.
- Takımların tekil etkisine bakıldığında en düşük M_Z değerleri ortalaması OTEC2 kesici takım ile elde edilmiştir.
- En iyi burulma momenti değeri ($M_Z = 41,7$ Nm) 7-9 μ m köşe yuvarlatma değerine sahip OTEC2 olarak isimlendirilen kesici takım ile 320 m/dk kesme hızı ve 0,085 mm/diş ilerleme miktarı kullanılarak yapılan deneylerde elde edilmiştir.
- En iyi M_Z değerine ulaşılan deney deseninde OTEC2 kesici takımda elde edilen M_Z değerinde; standart takıma göre %13,12 azalma, OTEC1 kesici takıma göre %30,74 azalma, helisel dalga formulu kesici takıma göre %17,76 azalma vardır.
- M_Z ilerleme miktarıyla doğru orantılı kesme hızıyla ters orantılı bir durum sergilemiştir.

Kesici kenarda belli bir değerde yapılacak köşe yuvarlatma işleminin hızlı aşınmanın önüne geçerek yüzey kalitesi, kesme kuvvetleri ve moment üzerinde olumlu etki yaptığı sonucuna varılmıştır. Ancak, bu köşe yuvarlatma değerinin artmasıyla BUE oluşumu artmaktadır. Bu doğrultuda köşe yuvarlatmanın işlenebilirlik üzerinde önemli bir etkiye sahip olduğu, kesici kenarda yapılacak köşe yuvarlatma işleminin bu hızlı aşınmanın önüne geçerek kesme kuvvetleri ve yüzey kalitesini olumlu etkilediğı ancak, bu köşe yuvarlatma değerinin belli bir değerde (4-5 μm) kalması gerektiğı, fazla olması halinde tekrar olumsuz bir etki yaptığı söylenebilir.

Bu çalışmadan elde edilen bulgular ışığında ileriye dönük olarak;

- Kullanılan değerlerden farklı köşe yuvarlatma değerlerine sahip parmak frezelerin işlenebilirlik üzerindeki performansları,
- Parmak frezelerde köşe yuvarlatma değerlerinin, farklı çaplarda ve işleme parametrelerinde sergileyecekleri performansları,
- Köşe yuvarlatmaya sahip parmak frezelerin, çeşitli kesici takım kaplamalarıyla işleme davranışı üzerindeki etkileri,
- Köşe yuvarlatmaya sahip parmak frezelerin farklı malzemeler üzerindeki işleme performansı

için araştırmalar yapılması önerilir.

KAYNAKLAR

1. Şeker, U. (2000). *Talaşlı İmalatta Takım Tasarımı*, Yüksek Lisans Ders Notları, Gazi Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Ankara, 20-45.
2. Subramanian, M., Sakthivel, M., Sudhakaran, R. (2014). Modeling and analysis of surface roughness of AL7075-T6 in end milling process using response surface methodology. *Arabian Journal for Science and Engineering*, 39 (10), 7299-7313.
3. Kakati, A. K., Chandrasekaran, M., Mandal, A., Singh A.K. (2011). Prediction of optimum cutting parameters to obtain desired surface in finish pass end milling of aluminium alloy with carbide tool using artificial neural network, *World Academy Of Science And Engineering and Technology*, 5(9), 1929-1935.
4. Salguero, J., Batista, M., Calamaz, M., Girot, F., Marcos, M. (2013). Cutting forces parametric model for the dry highspeed contour milling of aerospace aluminum alloys. *Procedia Engineering*, 63, 735–742.
5. Baek, D.K., Ko, T.J., Kim, H.S. (2001). Optimization of feedrate in a face milling operation using a surface roughness model. *International Journal of Machine Tools and Manufacture*, 41, 451–462.
6. Salguero, Gómez, J. Analysis. (2013). *Evaluation and Proposals for Performance Enhancing in Highspeed Machining of Aeronautical Aluminum Alloys*. Ph.D. Thesis, University of Cadiz, Cadiz, Spain.
7. Cai, X.J., Ming,W.W., Chen, M. (2012). Surface integrity analysis on high speed end milling of 7075 aluminium alloy. *Advanced Materials Research*, 426, 321–324.
8. Ammula, S.C., Guo, Y.B. (2005). Surface integrity of Al 7050-T7451 and Al 6061-T651 induced by high speed milling. *SAE transactions*, 1135-1143.
9. Sukvittayawong, S., Inasaki, I. (1991). Optimization of Turning Process by Cutting Force Measurement. *Jsmc International Journal Series Iii Vibration Control Engineering for Industry*, 34(4), 546- 552.
10. Gunay, M. (2008). Investigation of the interaction between the surface quality and rake angle in machining of AISI 1040 steel. *Sigma-Journal of Engineering and Natural Sciences*, 26(2), 105-111.
11. Guvercin, S., Yildiz, A. (2018). Optimization Of Cutting Parameters Using The Response Surface Method. *Sigma Journal Of Engineering And Natural Sciences*, 36(1), 113- 121.
12. Rendigs, K.H. (1997). Aluminum structures used in aerospace-status and prospects. *In Materials Science Forum*, 242, 11-24. Trans Tech Publications Ltd.
13. Williams, J.C., Starke Jr, E.A. (2003). Progress in structural materials for aerospace systems. *Acta Materialia*, 51(19), 5775-5799.

14. Demirci, H. (2004). *Malzeme Bilgisi ve Malzeme Muayenesi Seçilmiş Temel Kavramlar ve Endüstriyel Uygulamalar* (1), İstanbul:Alfa Basım Yayın, 257-320.
15. Zhao, T., Jiang, Y. (2008). Fatigue of 7075-T651 aluminum alloy. *International Journal of Fatigue*, 30(5), 834-849.
16. Kuram, E., Özçelik, B. (2013). Multi-Objective Optimization Using Taguchi Based Grey Relational Analysis for Micro-Milling of Al 7075 Material with Ball Nose End Mill, *Measurement*, 46, 1849-1864.
17. Seymen, Y. (2009). *Alüminyumun (Al7075) Elmas Benzeri Karbon (DLC) Kaplanmış Parmak Freze ile İşlenmesinin Deneysel İncelenmesi*, Yüksek Lisans Tezi, Marmara Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul.
18. Öktem, H. (2009). *Kalıp Parçalarının Frezelenmesi Sonucunda Oluşan Yüzey Pürüzlülüğünün Optimizasyonu*, Doktora Tezi, Kocaeli Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Kocaeli.
19. Uğur, L. (2019). 7075 Alüminyum Malzemesinin Yüzey Pürüzlülüğünün Yanıt Yüzey Metodu ile Optimizasyonu. *Erzincan Binali Yıldırım Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Dergisi*, 12(1), 326-335.
20. Pınar, A.M, Enver, A., Çavdar, U. (2010). *AA 7075 Alaşımının Frezelenmesinde Kesme Hızı, İlerleme Oranı, İşleme Deseni ve Talaş Derinliği İşlem Parametrelerinin Yüzey Kalitesi Üzerindeki Etkilerinin İncelenmesi*. 2. Ulusal Tasarım İmalat ve Analiz Kongresi, Balıkesir, 251-258.
21. Buğdaycı, N.B. (2013). *Havacılık Endüstrisinde Kullanılan Alüminyum Alaşımlarının Karbür Parmak Frezeler ile İşlenmesinde Takım Ömrü Analizi*, Yüksek Lisans Tezi, Koç Üniversitesi Makine Mühendisliği, İstanbul.
22. Benardos, P. G., Vosniakos, G. C. (2002). Prediction of surface roughness in CNC face milling using neural networks and Taguchi's design of experiments. *Robotics and Computer-Integrated Manufacturing*, 18, 343-354.
23. Durmuş, V. (2019). *Al 7075 Malzemenin Parmak Frezeler ile İşlenebilirliğinin Araştırılması*, Yüksek Lisans Tezi, Gazi Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Ankara.
24. Simunovic, G., Simunovic, K., Saric, T. (2013). Modelling and Simulation of Surface Roughness in Face Milling. *International Journal of Simulation Modelling*, 12(3), 141-153.
25. Saric, T., Simunovic, G., Simunovic K. (2013). Use of Neural Networks in Prediction and Simulation of Steel Surface Roughness. *International Journal of Simulation Modelling*, 12(4), 225-236.
26. Tazegül, A.S. (2019). *Nano Kristal Elmas Kaplanmış Mikro Takımların Alüminyum 7075-T6 Alaşımının İşlenmesindeki Performansının Araştırılması*, Yüksek Lisans Tezi, Afyon Kocatepe Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Afyon.

27. Hüseyinoğlu, M. (2008). *7075 Alüminyum Alaşımının Freze ile İşlenmesinde Minimum Soğutma Sıvısı Kullanmanın Performans Karakteristiklerine Etkisi*, Yüksek Lisans Tezi, Fırat Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Elâzığ.
28. Aydın, K. (2021). *Dalga Formlu Frezelerin İşleme Performansının Araştırılması*, Doktora Tezi, Gazi Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Ankara.
29. Song, Q., X. Ai, J. Zhao, (2011). Design for variable pitch end mills with high milling stability. *The International Journal of Advanced Manufacturing Technology*, 55(9-12), 891-903.
30. Mahesh, T.P., Rajesh K.R. (2014). Optimal Selection Of Process Parameters İn CNC End Milling Of Al 7075YT6 Aluminum Alloy Using A Taguchi-fuzzy Approach. *Procedia Materials Science*, 5, 2493 – 2502
31. Okafor, A. C., A. A. Sultan, (2016). Development of a mechanistic cutting force model for wavy-edge bull-nose helical end-milling of inconel 718 under emulsion cooling strategy. *Applied Mathematical Modelling*, 40(4), 2637-2660.
32. Wojciechowski, S.R.W., Maruda, G.M., Krolczyk, P. N. (2018). Application of signal to noise ratio and grey relational analysis to minimize forces and vibrations during precise ball end milling. *Precision Engineering*, 51, 582-596.
33. Hartomacıoğlu, S. (2011). *Serbest Şekilli Yüzeylerin İşlenmesinde Kesici Takım Geometrisinin Yüzey Pürüzlülüğü ve Şekil Hatasına Etkisi*, Yüksek Lisans Tezi, Marmara Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul.
34. Aslantas, K., Alatrushi, L. (2021). Experimental study on the effect of cutting tool geometry in micro-milling of Inconel 718. *Arabian Journal for Science and Engineering*, 46(3), 2327-2342.
35. Wan, M., Feng, J., Zhang, W.-H., Yang, Y., Ma, Y.-C. (2017). Working mechanism of helix angle on peak cutting forces together with its design theory for peripheral milling tools. *Journal of Materials Processing Technology*, 249, 570-580.
36. Burek, J., Zylka, L., Plodzien, M., Gdula, M.; Sulkowicz, P. (2018). The influence of the cutting edge shape on high performance cutting. *Aircraft Engineering and Aerospace Technology*, 90(1), 134-145.
37. Domaç, H. (2011). *Frezeleme İşleminde Kesici Uç Yarıçapı ve Uç Geometrisinin Yüzey Pürüzlülüğü ve Kesme Kuvvetleri Üzerindeki Etkilerinin Araştırılması*, Gazi Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Ankara.
38. Yılmaz, V., Dilipak H., Sarıkaya M., Yılmaz C.Y., M. Ö. (2016). Frezeleme işlemlerinde kesme kuvveti, titreşim ve yüzey pürüzlülüğü sonuçlarının modellenmesi. *Erciyes Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Dergisi*, 30(4), 220-226
39. Öztürk, E. (2021). *Talaşlı İmalata Dik Kesme Modelinin Sonlu Elemanlar Metoduyla Analizi*, Yüksek Lisans Tezi, Bursa Uludağ Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Bursa.

40. Çakmak, İ. (2013). *Frezeleme işleminde takım talaş kırıcı formunun yüzey pürüzlülüğü ve kesme kuvvetlerine etkisinin deneysel araştırılması*, Yüksek Lisans Tezi, Gazi Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Ankara.
41. Aydın, M. (2014). *Parmak Freze Takımı ile Talaş Kaldırmada Kesme Kuvvetleri ve Boyut Hatalarının Kesme Kuvveti Dağılımı Metodu ile Analizi*, Doktora Tezi, Kocaeli Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Kocaeli.
42. Aydın, M. (2022). Parmak Frezeleme Sırasında Takım Salgısının Etkisi Dahil Edilerek Kesme Kuvvetlerinin Tahmini ve Analizi. *Politeknik Dergisi*, 25(1), 157-167.
43. Akgün, A. (2020). *Dalgalı Kesim Özelliğine Sahip Değişken Talaş Açılı Parmak Freze Tasarımı ve Performansının Değerlendirilmesi*, Yüksek Lisans Tezi, Gazi Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Ankara.
44. Sakarya, N. (2005). *Cep İşlemede Takım Yolu Hareketlerinin ve Kesme Parametrelerinin Yüzey Pürüzlülüğüne Etkilerinin İncelenmesi*, Bilim Uzmanlığı Tezi, Zonguldak Karaelmas Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Karabük.
45. Şahin, Y. (2001). *Talaş Kaldırma Prensipleri 2*. (Birinci baskı). Ankara: Nobel Yayın Dağıtım, 240-490.
46. Can, A. (2003). *AISI 5140 Çeliğinin Sermet, PVD ile TiAlN-CVD ile TiN Kaplanmış Kesici Uçlarla Tornalanmasında Kesme Değişkenleri, Kaplama Cinsi ve Takım Aşınmasının Yüzey Pürüzlülüğüne Etkisinin Deneysel Olarak İncelenmesi*, Yüksek Lisans Tezi, Gazi Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Ankara.
47. Bahgeri, P. (2019). *Frezeleme Esnasında Oluşan Titreşim, Kesme Kuvveti ve Yüzey Pürüzlülüğünün Deneysel Olarak Analizi*, Yüksek Lisans Tezi, Gazi Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Ankara.
48. Sander, M., (1991). *A Pratical Guide to the Assesment of Surface Texture* (1), Germany.
49. Bhushan, B., (2001). *Surface Roughness Analysis and Measurement Techniques*, The Ohio State University, CRC Press LCL.
50. Yılmaz, E. (2010). *Etial 180 Alüminyum Alaşımının İşlenmesinde Kesici Takım Geometrisi ve Kesme Parametrelerinin Yüzey Pürüzlülüğüne Etkileri*, Yüksek Lisans Tezi, Süleyman Demirel Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Isparta.
51. Bayrak, M. (2002). *Ç 1020, Ç 1040 ve 9SMnPb28 Çeliklerinin Talaşlı İşlenmesinde Yüzey Pürüzlülüğünün Uzman Sistemle Hesaplanan Değerlerin Deneysel Değerlerle Karşılaştırılması*, Yüksek Lisans Tezi, Gazi Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Ankara.
52. Gezgin, A. (2007). *Prizmatik Parçaların Frezelenmesi Esnasında, Kesici Uç Sayısının Takım Ömrü ve Yüzey Pürüzlülüğü Açısından Değerlendirilmesi*, Gazi Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Yüksek Lisans Tezi, Ankara.

53. Scar, A. J. T. (1991). Metrology and Precision Engineering. *Mc. Graw-Hill Publishing Company Limited*, New York, 126-167.
54. Mahr Product Management Sales (2003), *Surface Metrology*, 3. Asian Conference, Asia.
55. Kılıçlı, V., Motorcu, A.R., Erdoğan, M. (2004). *Farklı Mikroyapılara Sahip AISI 4140 Çeliğinin İşlenmesinde Yüzey Pürüzlülüğü ve Talaş Atılabilirliğinin DeneySEL Olarak İncelenmesi*. On Birinci Uluslararası Makina Tasarım ve İmalat Kongresi, Antalya.
56. Çini, A. (2010). *Inconel 718 Malzemesinin Tornalama İşleminde Yüksek Basınçlı Jet Soğutmanın Yüzey pürüzlülüğü ve Kesme Kuvvetlerine Etkisi*, Yüksek Lisans Tezi, Afyonkarahisar Kocatepe Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Afyonkarahisar.
57. İnternet: (Ocak 2016) İşlenebilirlik. Web: https://cdn.hitit.edu.tr/mf/files/18085_20471817776.pdf Son Erişim Tarihi: 30.05.2020.
58. Smith, T.G. (1989). *Advanced Machining The Handbook of Cutting Technology*. IFS Publications Ltd. UK.
59. Özçatalbaş, Y. (1996). *1050, 4140 ve 8620 Çeliklerinin Isıl İşleme Değişen Mikroyapı ve Mekanik Özelliklerine Bağlı İşlenebilirlikleri*, Doktora Tezi, Gazi Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Ankara
60. İnternet: UslularHadde. Talaşlı İşlenebilirliği Etkileyen Faktörler. Web: <https://uslularhadde.com/talasli-islenebilirligi-etkileyen-faktorler> Son Erişim Tarihi: 20.11.2022.
61. Yılmaz, B. (2016). *Pnömatik Tahrikli Dinamik Talaş Kırıcı Tasarımı ve İşleme Parametrelerine Etkilerinin Araştırılması*, Yüksek Lisans Tezi, Gazi Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Ankara
62. William, S. (2000). *Mühendislik Alaşımlarının Yapı ve Özellikleri*. (Çeviren: Erdoğan, M.). Ankara: Nobel Kitapevi, 250-267.
63. Mills, B., Redford., A.H. (1983). The Concept of Machinability. *Machinability of Engineering Metarials*, 1-3.
64. Polmear, I.J. (1989), *Metalurgy of the Light Metals* (3), Edward Arnold, Smithells Light MetalsHandbook, New York.
65. Deschams, A., Dumont, D., Brechet, Y., Siğli, C.; Dubost, B. (2001), Process modeling of age-hardening aluminum alloys : from microstructure evolution to mechanical and fracture properties. *ASM International, Materials Park*, OH, 298-305.
66. Askeland, D. R. (1998). *Malzeme Bilimi ve Mühendislik Malzemeleri*. (Çeviren: Erdoğan, M.). Ankara: Nobel Kitapevi, 250-267.
67. Eruslu, N., Altmışoğlu, Y., Taptı, A. (2000). *Alaşımlar Ders Notu*, İstanbul Teknik Üniversitesi, İstanbul.

68. Kaplan, H. (1990). The Making of Magnesium. *Light Metal Age*, 18.
69. Kaya, I. (2005). *Al 7075 Alaşımının şekillenme ve Isıl İşleme Özelliklerinin İyileştirilmesi*, Yüksek Lisans Tezi, Yıldız Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul.
70. Durmuş, S., Akgün, S., şahin, S. (2009). *Çökelme Sertleştirilmesi uygulanmış AA 7012 Alüminyum Alaşımlarında Sertliğin Mikro yapı ile değişiminin incelenmesi*, 5. Uluslararası İleri Teknolojiler Sempozyumu. IATS'09, Karabük.
71. Dünder, M. (2003). *Alüminyumun Yaygın Kullanımı İçin Potansiyel uygulamalar*. II. Alüminyum Sempozyumu ve Sergisi, Seydişehir.
72. Yılmaz, M. (2003). *Alüminyum Sektöründe Yeni Kullanım Sahaları*. II. Alüminyum Sempozyumu ve Sergisi, Seydişehir.
73. Çakır, M.C. (2000). *Modern Talaşlı İmalat Yöntemleri* (1). Bursa: Vipaş, 535.
74. şahin, Y. (2000). *Talaş Kaldırma Prensipleri I* (1). Ankara: Nobel Yayın Dağıtım, 160-171.
75. Aluminum, V. (1967). *Fabrication and Finishing, American Society for Metals* (3). America: Metals Park, Ohio.
76. Shaw, M. C., Cook, N. H., Finnie, I. (1953). The shear-angle relationship in metal cutting. *Transactions of the American Society of Mechanical Engineers*, 75(2), 273-283.
77. Isık, A. (2006). *Uygulamalı İstatistik II* (1). İstanbul: Beta Basım Yayın, 5-100.
78. Ross, R.P. (1988). *Loss Function, Orthogonal Experiments, Parameter and Tolerance Design*. U.S.A.: Mc Graw-Hill, 102-179.
79. Günay M., şeker U. (2005). Kesici Takım Talaş Açısının İlerleme Kuvveti Üzerindeki Etkisinin Araştırılması. *Politeknik Dergisi*, 8(4) , 323-328.



Gazili olmak ayrıcalıktır